



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

經營學碩士 學位論文

녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정에 관한 연구  
- LNG 추진선을 중심으로 -

A Study on Prioritization of Green Shipping  
Infrastructure Construction  
- Focused on LNG Fuel Propulsion Vessel



2018年 2月

韓國海洋大學校 大學院  
海運經營學科  
姜 錫 煥

本 論文을 姜錫煥의 經營學碩士 學位論文으로 認准함

委員長 李 基 煥 (印)

委 員 安 奇 明 (印)

委 員 柳 東 瑾 (印)



2017年 12月

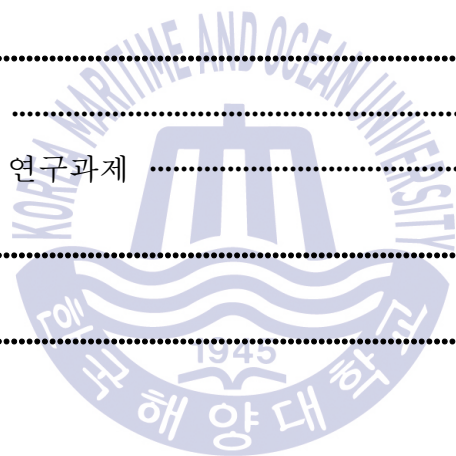
韓國海洋大學校 大學院

海運經營學科

# 목 차

Abstract .....	vii
<b>제1장 서론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 방법 및 구성 .....	3
<b>제2장 이론적 고찰 .....</b>	<b>5</b>
2.1 녹색해운의 글로벌 동향 및 전망 .....	5
2.1.1 녹색해운의 개념 .....	5
2.1.2 환경오염 규제 강화 현황 및 전망 .....	8
2.1.3 주요국 녹색해운 정책 및 전망 .....	12
2.2 LNG 추진선 현황 및 전망 .....	23
2.2.1 LNG 추진선 필요성 .....	23
2.2.2 LNG 추진선 국내외 현황 .....	24
2.2.3 LNG 추진선의 경제성 .....	28
2.3 LNG 추진선 중심 녹색해운 인프라 .....	30
2.3.1 LNG 추진선 중심 녹색해운 인프라 정의 .....	30
2.3.2 LNG 추진선 중심 녹색해운 국내외 인프라 현황 .....	30
2.3.3 LNG추진선 중심 녹색해운 인프라 구축에 대한 선행연구 .....	52
<b>제3장 AHP 방법 및 모형설계 .....</b>	<b>58</b>
3.1 AHP의 고찰 .....	58
3.1.1 AHP의 개념 및 절차 .....	58
3.1.2 AHP 계층화 과정 .....	62
3.1.3 중요도 측정 및 일관성 검정 .....	63
3.2 AHP 적용의 타당성 .....	67
3.3 세부 평가요인 도출 .....	68
3.3.1 세부평가 요인 도출 방법 .....	68
3.3.2 주요 평가요인 규정 .....	69
3.3.3 계층분석구조의 설정 .....	71

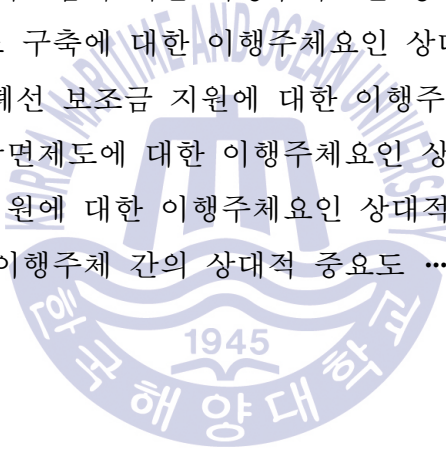
3.4 설문조사 대상자 선정과 응답 결과 .....	72
3.4.1 설문조사 대상자 선정 .....	72
3.4.2 설문 응답 결과 .....	73
<b>제4장 AHP 분석결과 .....</b>	<b>75</b>
4.1 계층별 중요도 평가 .....	75
4.1.1 주요평가 항목의 중요도 .....	75
4.1.2 세부평가 요인의 중요도 .....	76
4.1.3 세부평가 요인의 종합중요도 평가 .....	77
4.2 이행 주체간 중요도 평가 .....	78
4.2.1 세부평가 요인별 이행 주체간의 상대적 중요도 .....	78
4.2.2 세부평가 요인별 이행주체 간의 상대적 중요도 평가 .....	81
<b>제5장 결 론 .....</b>	<b>82</b>
5.1 연구의 요약 및 의의 .....	82
5.2 연구의 한계 및 향후 연구과제 .....	83
<b>참고문헌 .....</b>	<b>85</b>
<b>부록 .....</b>	<b>90</b>



## 〈표 목차〉

Table 1 연구자별 녹색해운의 정의 .....	6
Table 2 유럽연합(EU)의 황산화물(SOx) 배출규제 적용기준 .....	13
Table 3 마르코 폴로 I, II 프로그램 개요 .....	14
Table 4 덴마크 해운부문에서의 NOx와 SOx 배출감축 .....	15
Table 5 Green Ship of the Future 프로젝트 .....	16
Table 6 로테르담항 주요 녹색항만 사업 .....	18
Table 7 미국 LA/LB항 주요 녹색항만 사업 .....	20
Table 8 싱가포르항 주요 녹색항만 사업 .....	22
Table 9 대안별 배출가스 감소량 .....	23
Table 10 대안별 장단점 .....	23
Table 11 주요선사 LNG 추진선 도입현황 .....	25
Table 12 LNG-LSFO 연간 연료비 분석 기본 데이터 .....	29
Table 13 주요항만 LNG 병커링선 도입현황 .....	32
Table 14 전 세계 LNG 병커링 인프라 구축 추진 항만 .....	34
Table 15 녹색해운 교육 대상자 및 직무 교육 내용 .....	46
Table 16 녹색해운 전문 인력 양성 방안 총괄표 .....	47
Table 17 '14~'17년 부산항 ESI 감면실적 현황 .....	49
Table 18 시설투자에 대한 선행연구 요약 .....	54
Table 19 운용시스템 ‘구축에 대한 선행연구 요약 .....	55
Table 20 인센티브 정책에 대한 선행연구 요약 .....	57
Table 21 쌍대비교 행렬의 역수관계 .....	59
Table 22 쌍대비교의 기본척도 .....	64
Table 23 근사적 방법에 의한 중요도 계산방법 .....	64
Table 24 기하평균과 산술평균의 역대칭 .....	65
Table 25 근사적 방법에 의한 $\lambda_{max}$ (최대고유치) 계산방법 .....	66
Table 26 난수 지수 .....	66
Table 27 AHP의 장점 .....	67
Table 28 세부평가 속성설명 및 내용 .....	70
Table 29 응답자 특성조사 : 그룹별 .....	74

Table 30	응답자 특성조사 : 직위별 .....	74
Table 31	응답자 특성조사 : 근무년수별 .....	74
Table 32	녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 주요평가 항목 중요도 .....	75
Table 33	시설투자의 상대적 중요도 .....	76
Table 34	운용시스템 구축의 상대적 중요도 .....	76
Table 35	인센티브 정책의 상대적 중요도 .....	77
Table 36	세부평가 요인의 종합중요도 .....	77
Table 37	LNG 추진선 신조에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	78
Table 38	LNG 벙커링 선 확보에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	78
Table 39	LNG 벙커링 기지 구축에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	78
Table 40	육·해상 전문 인력 확보 및 양성에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	79
Table 41	LNG 추진선 교육시스템에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	79
Table 42	녹색해운 인증제도 구축에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	79
Table 43	친환경선박 신조/폐선 보조금 지원에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	80
Table 44	친환경선박 비용감면제도에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	80
Table 45	친환경선박 금융지원에 대한 이행주체요인 상대적 중요도 .....	80
Table 46	세부평가 요인별 이행주체 간의 상대적 중요도 .....	81



## 〈그림 목차〉

Fig. 1 연구의 구성 체계 .....	4
Fig. 2 녹색해운 및 친환경선박 정의 .....	7
Fig. 3 황 배출가스 통제해역 현재와 미래 .....	8
Fig. 4 MARPOL 부속서 VI, 선박 황산화물 배출제한 이행 계획 .....	9
Fig. 5 신조선박에 대한 질소산화물 규제 .....	9
Fig. 6 EEDI 및 SEEMP 시행 후 CO2 강도 변화 .....	10
Fig. 7 배기가스별 절감효과 .....	11
Fig. 8 LNG 추진선 증가 추세 .....	25
Fig. 9 전 세계 LNG 추진선 .....	26
Fig. 10 건조 예정 LNG 추진선 .....	26
Fig. 11 Isla Bella호 전경 .....	26
Fig. 12 병커링중인 에코누리호 .....	27
Fig. 13 최초 LNG 추진 컨테이너선(Isla Bella호) .....	31
Fig. 14 글로벌 LNG 병커링 인프라 현재와 미래 .....	33
Fig. 15 로테르담 Gate 터미널 .....	35
Fig. 16 지브리계 Fluxys LNG 터미널 .....	36
Fig. 17 노르웨이 LNG 병커링 항만 .....	37
Fig. 18 예테보리항 .....	38
Fig. 19 핀란드 LNG 터미널 .....	38
Fig. 20 코펜하겐 말뚝항의 LNG 터미널 입지선정 후보 .....	39
Fig. 21 함부르크항만 LNG 터미널 .....	39
Fig. 22 싱가포르 SLNG 터미널 .....	41
Fig. 23 싱가포르 SLNG 터미널 .....	42
Fig. 24 중국의 LNG 추진선 현황 .....	43
Fig. 25 저우산항 LNG 병커링기지 조감도 .....	44
Fig. 26 타코마항 LNG 병커링 인프라 개발 개념도 .....	46
Fig. 27 AHP의 4가지 공리 .....	60
Fig. 28 AHP 의사결정문제 해결과정 .....	62
Fig. 29 AHP 계층화 모형 .....	63



Fig. 30 실증분석을 위한 세부평가 요인 도출 흐름도 .....68  
Fig. 31 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 AHP모형 .....72



# A Study on Prioritization of Green Shipping Infrastructure Construction - Focused on LNG Fuel Propulsion Vessel-

Kang, Seog Hwan

Department of Shipping Management  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University



The International Maritime Organization (IMO) has begun to regulate ship emissions more tightly from 2010, especially in the Emission Control Area (ECA).

In the ECA region, sulfur-containing fuels should be used at less than 0.1% (by mass) from 2016, engines suitable for Tier III (currently requested to reduce 75 % less than Tier II), which is a nitrogen oxide regulator, should be used. From 2020, it is imperative to respond to regulations requiring mandatory use of less than 0.5% sulfur-containing fuel in the world's waters. And EEDI (Energy Efficient Design Index) for reducing greenhouse gas emissions went into effect in 2013 and already entered the first stage from 2016. As of 2005, 20% CO<sub>2</sub> emissions by 2020 and 30% by 2025 should be reduced.

In order to respond to such ship exhaust gas emission regulations, various solutions are being developed in the shipbuilding and shipping Industries, but conversion of marine fuels from existing fossil fuels to LNG is considered as the most obvious alternative.

If ship fuel is used as LNG, it can reduce sulfur oxides more than 80%, nitrogen oxides more than 90%, green house gases more than 20%, PM more than 90%.

In response, the Korean government established an LNG fuel propulsion vessels related industry promotion committee in preparation for international environmental regulations, and to build LNG fuel propulsion vessels for the government owned vessels to promote LNG fuel propulsion vessels.

This thesis investigated the status of infrastructure construction focused on LNG fuel propulsion vessels in the global leading green shipping countries as well as the current status of infrastructure including domestic LNG fuel propulsion vessels.

Overseas green shipping leading countries have already established or are in the process of establishing or constructing infrastructure for stable operation of LNG fuel propulsion vessels. In order to induce such investment, Green shipping infrastructure should be established through preemptive investment by the organic cooperation between government and shipping industries.

However, there are no LNG bunkering bases and LNG bunkering vessels in Korea. Nevertheless, in order for Korean shipping companies to become more competitive after the collapse of Hanjin Shipping Company Limited due to the world economic crisis, the current strengthening of international environmental regulations should be an opportunity for reversal.

From this point of view, this thesis conducted a survey to ascertain the priority of establishing a green shipping infrastructure focusing on LNG fuel propulsion vessel. As a result, the three main evaluation items for LNG fuel propulsion vessels were found to be important in the order of facility investment, incentive policy, and operation system.

In addition, among the detailed factors of facility investment, it is found that the most important thing is to build LNG fuel propulsion vessels, followed by securing LNG bunkering bases and securing LNG bunkering vessels.

Finally, even if these infrastructure priorities are selected, it is important to note that the role of the government is the most important factor in establishing infrastructure for safe and stable operation of LNG fuel propulsion vessels in future, as is the case with global green shipping leading countries.

**KEY WORDS** : Infrastructure; Prioritization; LNG Fuel Propulsion Vessel; LNG Bunkering Base; LNG Bunkering Vessel.



# 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정에 관한 연구

## - LNG 추진선을 중심으로 -

강 석 환

해운경영학과  
한국해양대학교 대학원



국제해사기구의 선박배출가스 규제는 2010년부터 진행됐으며 특히 배출가스 통제해역인 ECA (Emission Control Area)에서는 선박 배출가스 규제가 더욱 강화되고 있다.

ECA 지역에서는 0.1%(질량기준) 이하의 황 함유량 연료를 사용해야 하고, 2020년부터는 전 세계 해역에서 0.5% 이하의 황 함유량 연료를 의무적으로 사용하는 규제가 발효돼 대응이 시급한 상황이다.

2016년부터는 질소산화물 규제인 Tier III (현재 Tier II 보다 75% 감축 요구)로 인하여 이에 대응하는 적합한 엔진을 사용해야 한다. 또한 온실가스 감축 관련한 EEDI (Energy Efficient Design Index, 에너지효율 설계지수)는 2013년에 발효돼 2016년부터 1단계에 돌입했다. 2005년 배출량을 기준으로 2020년 20%, 2025년 30%의 온실가스를 감축해야 한다.

이 같은 선박 배출가스 규제에 대응하기 위해 조선 및 해운분야에서는 다양한 해결방안을 개발 중이나 선박용 연료를 기존 화석연료에서 LNG로 전환하는 것이 가장 확실한 대안으로 평가받고 있다.

만약 선박 연료를 LNG로 사용할 경우 질소산화물 90% 이상, 황산화물 80% 이상, 온실 가스 20% 이상, 그리고 PM 90% 이상을 감축할 수 있다.

이에 따라 한국 정부는 국제적인 환경규제에 대비하여 'LNG 추진선 관련 산업 진흥위원회'를 설립하고 정부 소유 관공선부터 LNG 추진선으로 건조하여 LNG추진선의 활성화를 도모할 예정이다.

본 연구는 글로벌 녹색해운 선도국가들의 LNG 추진선을 중심으로 한 인프라 구축 현황들을 살펴보고 동시에 국내의 LNG 추진선을 포함한 제반 인프라 현황들도 조사하였다.

해외 녹색해운 선도국가들은 이미 정부와 기업 간의 유기적인 협력을 통한 선제적 투자로 LNG 추진선의 안정적 운용을 위한 제반 인프라가 구축되었거나 구축 중에 있고, 또한 그러한 투자를 유도하기 위해 다양한 인센티브 정책을 통해 현재의 녹색해운 인프라가 구축되었다.

하지만 한국은 LNG 병커링 기지 및 LNG 병커링 선이 전무한 상황이다. 지난 금융위기의 여파로 인한 한진 해운의 파산 이후 더욱 힘들어진 한국해운이 생존을 넘어 경쟁력을 갖추려면, 현재의 국제적 환경 규제 강화를 오히려 반전의 기회로 삼아야 한다.

이러한 관점에서 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위를 파악하기 위한 설문조사를 실시하였고, 그 결과 LNG 추진선을 위한 3가지 주요평가항목의 우선순위에서는 시설투자, 인센티브 정책 및 운용시스템 구축 순으로 중요한 것으로 분석되었다.

또한 시설투자의 세부평가 요인 중에서는 LNG 추진선 신조가 가장 중요하고 그 다음으로 LNG 병커링 기지 확보, LNG 병커링 선 확보 순으로 중요한 것으로 확인되었다.

마지막으로 비록 이러한 인프라들의 우선순위가 선정되었다 하더라도 글로벌 녹색해운 선도국가들이 기 구축한 사례와 동일하게 향후 LNG추진선의 안전하고 안정적인 운용을 위한 인프라 구축을 위해서는 정부의 역할이 가장 중요한 것으로 확인된 것이 본 연구의 중요한 의미라 할 수 있다.

**KEY WORDS** : 인프라; 우선순위; LNG 추진선; LNG 벙커링기지; LNG 벙커링선.



# 제1장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

19세기 후반부터 시작된 지구 온난화는 전 세계적인 바다와 지표 부근 공기의 기온 상승을 의미한다. 지구 표면의 평균 온도는 1980년에 비해 20세기 초부터 약 3분의 2가 증가한  $0.8^{\circ}\text{C}$  정도 기온이 상승했다. 기후변화에 관한 정부 간 패널인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)<sup>1)</sup>에서 2007년 발표된 제4차 평가보고서는 21세기 동안 지구의 평균 온도는 최저  $1.1 - 2.9^{\circ}\text{C}$  정도 상승, 최대  $2.4 - 6.4^{\circ}\text{C}$  까지 상승할 수 있음을 예고했다. 북극의 빙하가 녹아내리고, 지구의 심장인 아마존이 점점 사라지고, 전 세계를 무차별적으로 강타하고 있는 홍수, 태풍, 허리케인 등 다양한 자연 재해들이 기후변화에서 비롯되었다는 진단에 따라 이를 해결하기 위한 국제적인 노력들이 이루어지고 있다.

이러한 기후변화 문제가 어느 한 국가의 문제가 아닌 전 지구의 문제로 인식되면서 이를 극복하기 위한 국제적인 공조가 국제적인 환경기준들을 마련하게 되었고, 그 기준들이 점차 강화되어 가고 있다. 최근 들어 항만과 선박이 생태계를 교란시키고 지구온난화와 환경오염의 발원지라는 인식이 확대되면서 이에 대한 규제도 강화되고 있다.

온실가스 감축을 결정한 유엔 기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change)은 선박을 감축 적용대상에서 제외하였지만 국제해사기구(IMO : International Maritime Organization)는 선박운항으로 인하여 발생하는 이산화탄소를 감축하기 위한 강제규제를 육상보다 먼저 채택했다. 2011년 해양환경보호위원회(MEPC

---

1) 기후 변화에 관한 정부간 패널(氣候變化에 關한 政府間 패널, Intergovernmental Panel on Climate Change, 약칭 IPCC)은 국제 연합의 전문 기관인 세계 기상 기구(WMO)와 국제 연합 환경 계획(UNEP)에 의해 1988년 설립된 조직으로, 인간 활동에 대한 기후 변화의 위험을 평가하는 것이 임무이다. IPCC는 연구를 수행하거나 기상 관측을 하는 조직은 아니다. 기후 변화에 관한 국제 연합 기본 협약(UNFCCC)의 실행에 관한 보고서를 발행하는 것이 주 임무이다. 이 패널은 미국의 앨 고어 전 부통령과 함께 2007년 노벨 평화상 수상자로 선정되었다.



: Maritime Environment Protection Committee) 62차에서 해양오염방지협약인 MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) 부속서 VI을 개정하여 에너지효율설계지수(EEDI : Energy Efficiency Design Index)와 에너지효율관리계획(SEEMP : Ship Energy Efficiency Plan)을 선박에 강제 적용토록 하였다. 또한 황산화물 배출가스 규제를 타 지역보다 더 강하게 규제하는 ECA (Emission Control Area)가 발틱해를 시작으로 북해 및 영국해협, 북미 등으로 확대되었고 중국도 양자강, 주장, 보하이만 3개 유역을 ECA로 지정, '17년부터 '19년까지의 단계적인 규제확대에 동참하고 있다.

해운산업은 이러한 강력한 규제들을 동시에 해결하기 위한 적용 가능한 대안으로 LNG를 연료로 사용하는 LNG 추진선을 건조할 것으로 예상된다. 만약 선박 연료를 LNG로 사용할 경우 온실 가스 20% 이상, 황산화물 80% 이상, 질소산화물 90% 이상, PM 90% 이상을 감축할 수 있다.

강력한 환경규제로 인하여 2030년경에는 전 세계 선박량의 60% 이상이 현존선을 개조하거나 또는 LNG를 연료로 사용하는 선박을 신조할 것으로 예상된다.

이러한 국제규제 강화에 대비하여 한국 정부도 친환경 연료인 LNG로 추진되는 선박과 관련한 신산업 육성을 위하여 「LNG 추진선박 연료 산업 육성 추진단」을 구성하였고 이의 활성화를 위해 관공선을 중심으로 LNG 추진선박을 건조할 예정이다.

하지만 LNG 추진선을 건조한다하더라도 이러한 선박에 LNG연료를 공급할 LNG 병커링 선, LNG 병커링 기지 등이 확보되어야 하는 것은 필수 불가결한 선결과제이다. 또한 현재 LNG 운반선에 승선하는 해상인력의 수급도 용이치 않은 상태에서 향후 안정적으로 LNG 추진선박을 운항·관리해야 할 육·해상 인력의 확보 및 교육은 선제적으로 진행해야 하며 이를 제도적으로 관리할 수 있는 인증제도의 구축도 필요하다.

또한 해운선사로 하여금 친환경 선박으로의 개조 또는 신조를 용이하게 하기 위한 신조/폐선 보조금 지원, 친환경 선박에 대한 항비, 세제 등의 비용감면 지원과 더불어 친환경 선박에 대한 금융지원 등도 다양하게 배려되어야 할 것이다.

이에 본 연구는 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운의 글로벌 동향 및 전망을 알아보고 LNG 추진선의 현황 및 해운위기 이후 지속가능한 경쟁력 확보를 위해 노력하고 있는 해운선사들이 강화된 환경규제 하에서 외국선사와의 경쟁에서 경쟁력을 갖출 수 있도록 하기 위하여 구축되어야 할 인프라를 분석하고 해당 인프라 구축을 위한 가장 최적의 이행주체를 선정하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 구성

본 연구는 국내·외의 문헌조사를 통하여 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위하여 녹색해운의 글로벌 동향 및 전망과 LNG추진선 현황을 고찰하였으며, LNG 추진선 인프라 구축에 대한 선행연구들을 통하여 선정기준 우선순위를 위한 평가요인과 세부요인들을 도출하고자 하였다.

또한 이를 바탕으로 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정 평가기준의 상대적 중요도를 산출하고 최종적으로 우선순위 평가 세부요인들에 대한 해결 주체의 중요도 우선순위를 선정하고자 하였다. 이와 관련한 모든 분석은 설문조사를 통해 얻어진 자료를 기반으로 AHP기법을 이용하였다.

본 연구는 크게 이론적 배경과 실증적 연구로 구성되어 있고 세부적으로는 다음과 같이 구성되어 있다.

제1장은 서론으로 연구의 배경, 목적 그리고 연구의 방법 및 구성들을 서술하였다.

제2장은 이론적 배경으로, 먼저 녹색해운의 개념 정립과 더불어 환경오염 규제강화 현황과 향후 전망을 고찰한 후, 이에 대응하기 위한 주요국 녹색해운 정책 및 전망을 살펴보고, 강화된 환경오염 규제 대안의 고찰을 통하여 LNG 추진선의 필요성과 LNG추진선의 국내외 현황과 경제성을 고찰하였다. 아울러 LNG 추진선의 인프라를 정의하고 해당 인프라의 현황을 살펴본 후, 관련한 선행연구를 확인해 보았다.

제3장은 실증적 연구로서, 본 연구를 위하여 AHP의 고찰을 수행한 후, AHP 적용의 타당성을 검토하였고, LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위를 선정하는데 있어 중요시되는 평가기준들을 도출하여 이를 바탕으로 AHP 모형을 설계하였다. 이를 바탕으로 설문조사 대상자를 선정하여 설문조사 후, 설문의 응답결과를 분석하였다.

제4장은 분석된 AHP 결과를 가지고 주요평가 항목, 세부평가의 중요도 및 종합중요도를 평가하였고, 다음으로 세부평가 요인들에 대한 이행주체 관련한 상대적 중요도 평가를 통하여 녹색해운 인프라 구축의 이행주체가 누구인지를 확인하였다.

제5장은 결론으로 본 연구결과의 요약과 의의 그리고 본 연구의 한계 및 향후 연구과제에 대하여 서술하였다.

이와 같은 본 연구의 구성 체계를 도식화 하면 아래 Fig. 1과 같다.

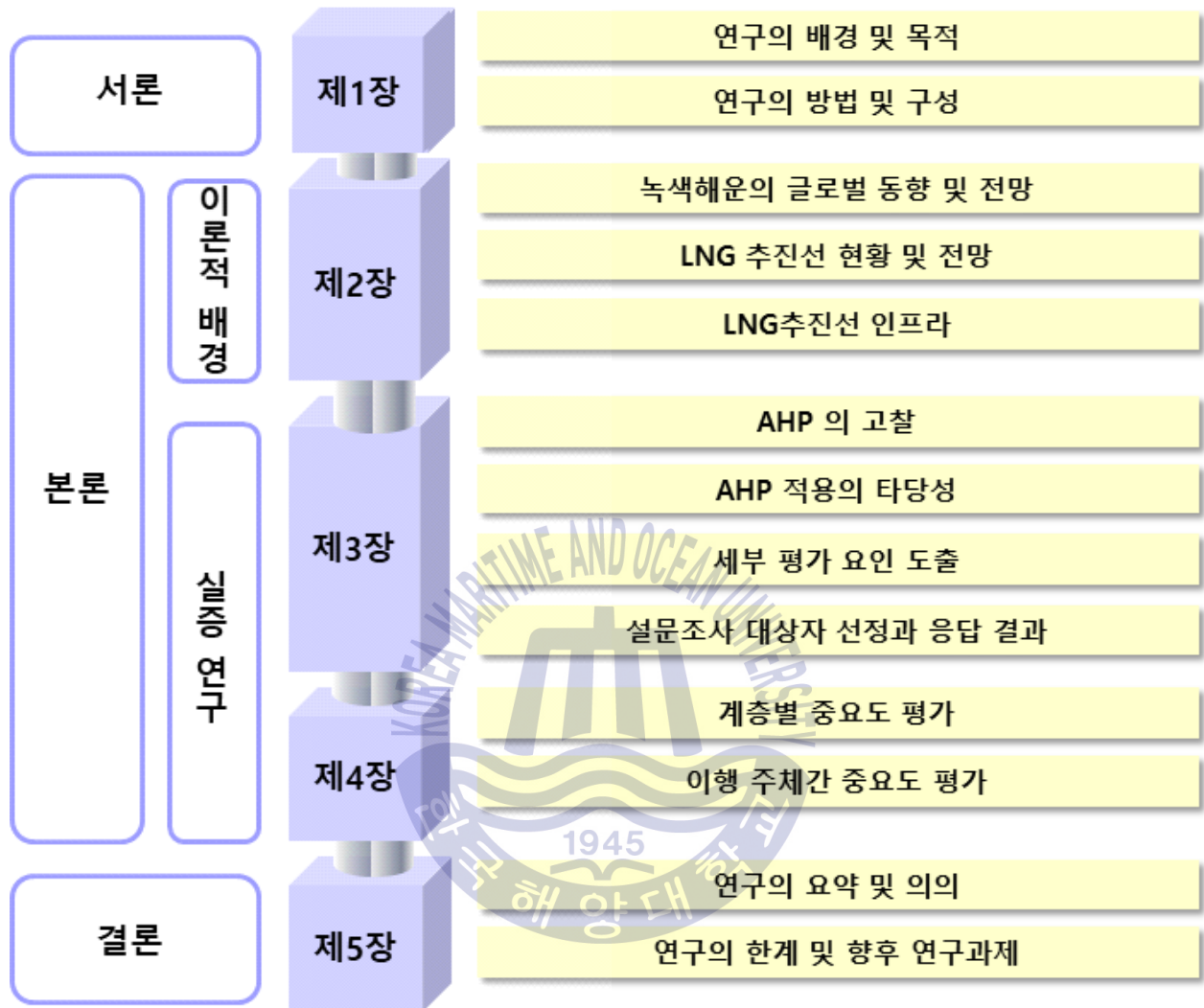


Fig. 1 연구의 구성 체계

## 제2장 이론적 고찰

### 2.1 녹색해운의 글로벌 동향 및 전망

#### 2.1.1 녹색해운의 개념

##### 2.1.1.1 녹색해운의 정의

녹색해운은 체계화 되지 않은 추상적인 개념이다. 따라서 해운산업이라는 특징을 반영한 미래지향적 친환경경제 주도를 위한 개념이 필요하다. 또한 선박운항 뿐만 아니라 육상과 연계되는 포괄적 개념의 정립도 필요하다.

친환경적 해운, 그린해운(Green Shipping)으로 불리는 녹색해운이란 사람이나 화물을 해상 운송하는 과정에서 환경영향을 최소화하는 친환경 운송 활동으로 녹색해운은 친환경적인 녹색물류의 개념을 해운분야에 적용시킨 것으로서 선박에 의한 활동 전 과정에서 지속가능한 발전을 위해 환경을 보호하는 활동이다.

화석연료를 사용할 수밖에 없는 공해선박이 새로운 에너지를 장착한 친환경 선박으로 전환되고, 정상적인 운항과정에서 해양과 대기를 오염시켜 지구온난화를 초래할 수밖에 없는 '공해선박의 공해운항'이 '친환경 선박의 친환경 운항'으로 전환됨으로써 새로운 운항질서가 정착되는 새로운 해운 이념을 표방하는 환경 패러다임이 녹색해운이다. 이에 따라 화물, 선박, 인력, 선용품 등 해운 활동이 일어나는 항만 내외에서도 모든 환경 관련 기준이 반영되는 새로운 패러다임이 구축될 것이다.

환경과 관련된 국제협약과 해운 선진 국가들의 추진 정책 상황들을 종합해 볼 때 선박 운항의 녹색화는 패러다임의 한 축이 되고 있고 선박의 녹색 운항은 진행 상황을 봤을 때 핵심 국가들의 적극적인 참여로 인해 거스르기 어려운 대세를 형성하고 있다.

주요 국가의 선박 개발 동향을 종합해 보면 현재는 눈앞의 녹색운항 목표인 온실가스(GHG) 저감에 초점을 맞추고 있으나 현재 사용 중인 석유 에너지로는 해양오염이나 대기오염 등의 문제를 근원적으로 해결하기 어렵다고 판단하여 새로운 에너지를 사용하는 선박의 개발이 적극 추진되고 있다.

LNG, 수소, 원자력, 태양열, 풍력 등을 이용한 다양한 추진력의 사용이 연구되고 있는데 이러한 대체 에너지의 연구는 대부분의 국가에서 이해당사자들과의 공동 추진 또는 정부 주도로 진행되고 있기 때문에 상당한 성과가 예상된다.

### 2.1.1.2 녹색해운의 개념관련 선행연구

녹색해운의 개념관련 선행연구를 살펴보면 김우선(2010)<sup>2)</sup>은 녹색해운은 협의의 개념으로 친환경 선박인 그린쉽(Green Ship)을 이용하여 온실가스 등 해상활동 중 발생하는 환경오염 물질 배출을 최소화하고 또한 이를 통합 관리하면서 환경 친화적인 해상운송 서비스를 제공하는 활동을 의미하며 이를 위한 계획, 통제, 관리행위 또한 포함된다고 하였다.

임종관(2010)<sup>3)</sup>의 연구에 의하면 환경규제의 강화에 따라 해운의 3대 기본조건인 ‘선박’, ‘운항’, ‘거래’가 모두 친환경적 개념인 녹색선박, 녹색운항, 녹색거래로 분류되는 새로운 녹색해운 패러다임으로 정착하게 될 것이라 주장하면서 녹색선박은 기존 화석에너지 사용으로는 온실가스 배출 감축을 근원적으로 해결하기 어려워 신 재생에너지 사용 혹은 엔진교체를 통한 친환경 선박 디자인을 말하고 녹색운항은 IMO의 국제협약에 따른 환경운항 방식이라고 하였다.

Table 1 연구자별 녹색해운의 정의

구분	정의
김우선(2010)	녹색해운은 협의의 개념으로 친환경 선박인 그린쉽(Green Ship)을 이용하여 온실가스 등 해상활동 중 발생하는 환경오염 물질 배출을 최소화하는 것을 말함
임종관(2010)	환경규제의 강화에 따라 해운의 3대 기본조건인 ‘선박’, ‘운항’, ‘거래’가 모두 친환경적 개념인 녹색선박, 녹색운항, 녹색거래로 분류되는 새로운 녹색해운 패러다임
임종관 등(2010)	녹색해운은 해운분야에서 적극적인 속성이나 목적을 취하는 것으로, 환경관련 내용들이 해상운송기준으로 체계화된 개념

2) 김우선, 2010. “녹색해운의 동향 과제”, 『해운매거진』, 제17권 제3호, 대한산업공학회, p.23.

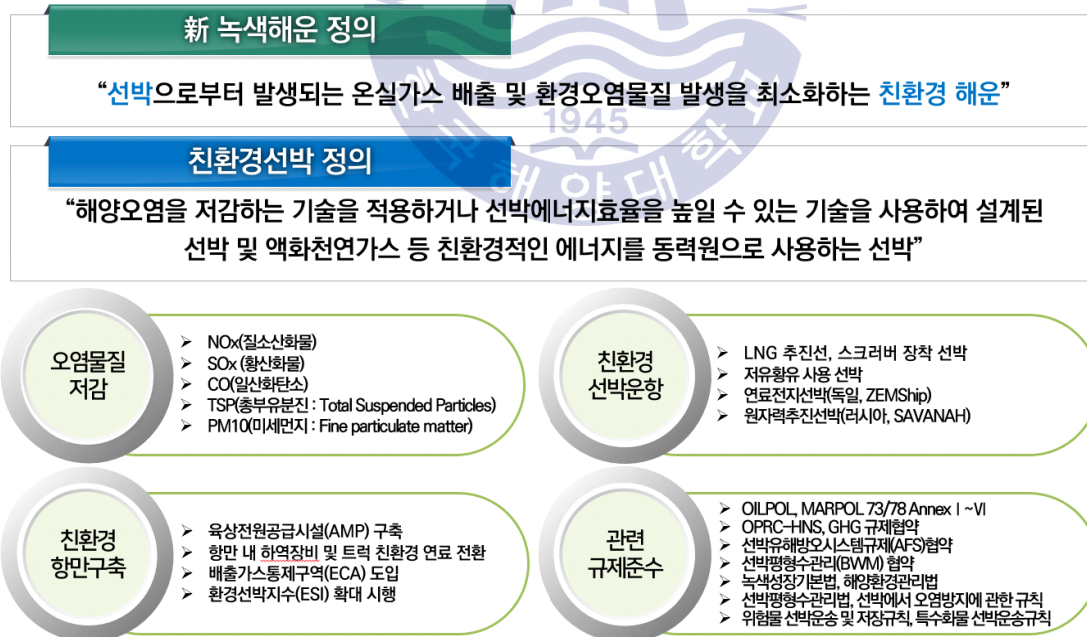
3) 임종관, 2011. “새로운 10년의 기회와 도전-녹색해운”, 『계간해양수산』, 제1호, 한국해양수산개발원, pp.8-11.

### 2.1.1.3 新녹색해운의 정의

해양수산부(2017)는 아래 Fig. 2와 같이 녹색해운을 “선박으로부터 발생하는 온실가스 배출 및 환경오염물질 발생을 최소화하는 친환경 해운”으로 정의하였고, 친환경 선박은 국제해사기구 환경규제 강화에 대한 대응방안 및 국내 녹색해운의 지속성장을 위해 “해양오염을 저감하는 기술을 적용하거나 선박에너지효율을 높일 수 있는 기술을 사용하여 설계된 선박 및 액화천연가스 등 친환경적인 에너지를 동력원으로 사용하는 선박”으로 하기 항목에 해당되는 경우 친환경선박으로 정의하였다.

① 저유황유 사용선박, 스크러버 장치 설치선박, 액화천연가스(LNG 및 LPG) 추진선, 연료전지선, 원자력추진선 등 ② 선박 에너지효율설계지수(EEDI)<sup>4)</sup> 허용값 이하가 되도록 설계·건조된 선박 및 현존선 설계지수(EVDI)<sup>5)</sup> D등급 이상의 선박

단, 선박에너지효율설계지수 허용값을 단계적으로 강화하기 위해 IMO에서는 감축계수를 설정하였으며, 이는 단계별 저감율을 의미하며 EVDI의 E, F, G 등급의 선박은 동종 선박의 평균 점수보다 표준편차가 떨어지며, 이는 에너지 저효율 선박을 의미한다.



자료 : 해양수산부, 2017. 녹색해운 발전방안 마련을 위한 연구

Fig. 2 녹색해운 및 친환경선박 정의

4) EEDI(Energy Efficiency Design Index) : 신조선에 대한 에너지효율설계지수

5) EVDI(Existing Vessel Design Index) : 현존선에 대한 에너지효율설계지수

## 2.1.2 환경오염 규제 강화 현황 및 전망

국제해사기구(IMO) 및 관련 국가 승인 하에, 선박배출가스로 인한 인간 및 환경에 대한 영향이 높은 지역에 있어서의 배출가스규제를 더욱 강화하는 제도인 ECA가 운영 중에 있다.

북해(North Sea), 발틱해(Baltic Sea), 그리고 북미 해역이 현재 ECA로 규정된 해역이며, 북해와 발틱해에서는 황 함유량을 중심으로 규제하고 있으며, 북미해역은 황 함유량과 함께 질소산화물 배출도 규제하고 있다. 대양 항해 시 사용되는 중질유를 가지고는 ECA해역 내에서 사용되어야 하는 연료 내 황 함유량을 맞추기 어려워 현재 대부분 ECA 지역 내에서는 사전에 수급 받은 저유황유를 연료로 사용하고 있다.

또한 선박 입출항이 많은 국가의 항만들을 중심으로 한 ECA를 적용하려는 움직임이 증가되고 있다. 관련하여 세계 5대 무역항 중의 한 곳인 홍콩항도 선박에 의한 환경오염의 심각성으로 인하여 황산화물의 배출량을 제한하는 방안을 계획 중이며, 일본도 ECA 지정 신청을 계획 중인 것으로 알려져 있다.

한편 중국은 주강삼각주(홍콩, 마카오 미포함), 창강삼각주와 발해만의 연해 및 내해 수역에 분포되어 있는 3개 ECA의 모든 항만에서 2018년 1월 1일부터 유황성분 함유량을 0.5% 이하로 제한하고 2019년 1월 1일부터는 해당 범규의 적용범위를 ECA 내의 모든 수역에서 운영되는 선박으로 확대될 예정이다.<sup>6)</sup> (Fig. 3 참조)

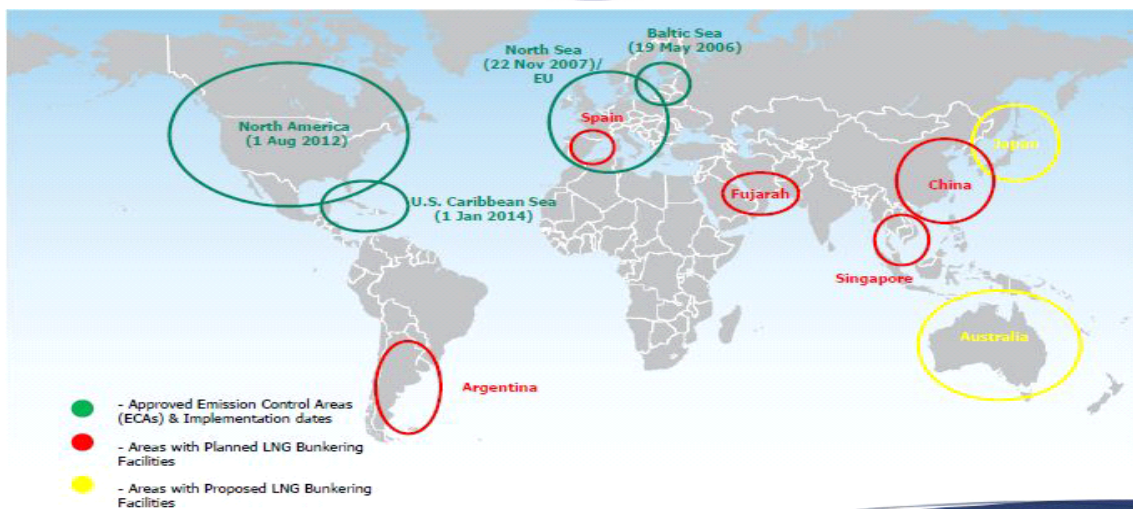
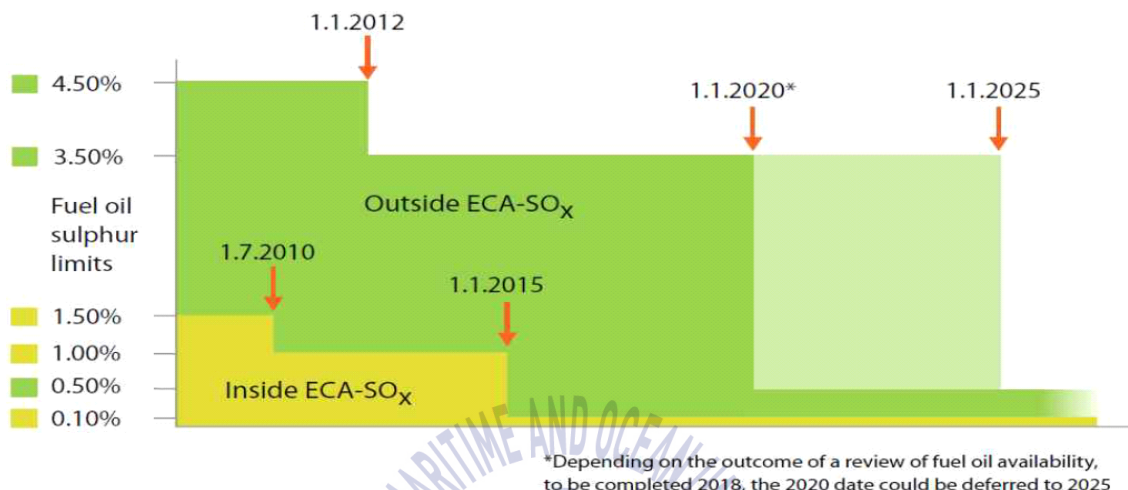


Fig. 3 황 배출가스 통제해역 현재와 미래

6) 한국해양수산개발원, 2017. “KMI 중국연구센터 Facebook”

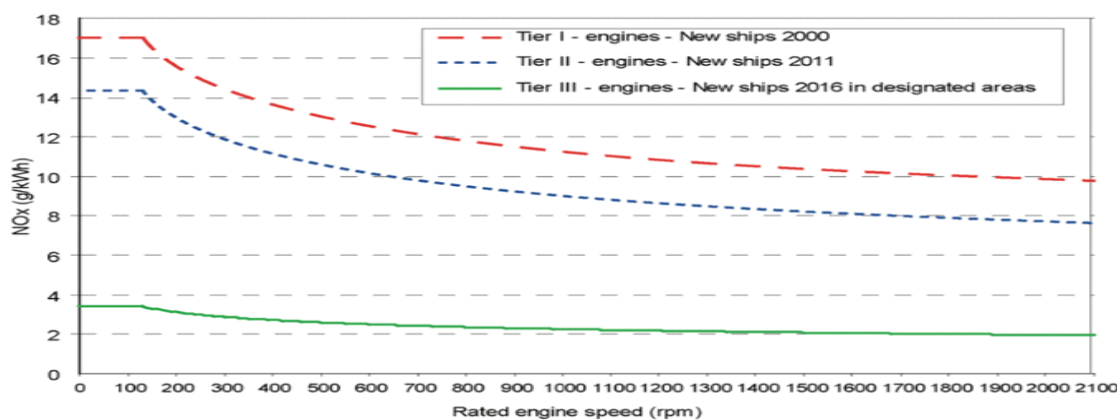
2016년 10월 27일 국제해사기구는 하기의 Fig. 4에서 보는 바와 같이 지금까지는 북미 및 발틱 등 ECA지역에서만 2015년부터 황 함유량 0.1% 기준을 적용해 왔던 선박연료의 황산화물(SO<sub>x</sub>) 배출량 상한선 비율(Sulfur cap)을 현행 3.5%에서 0.5%로 줄이는 친환경 규제를 신조선을 포함하여 기존선에도 적용하여 세계 전 해역에 걸쳐 2020년부터 시행하기로 했다.



자료 : Lloyd' s Register, 2012. "LNG-fuelled deep sea shipping-The outlook for LNG bunker and LNG-fuelled newbuild demand up to 2025", p.6.

Fig. 4 MARPOL 부속서 VI, 선박 황산화물 배출제한 이행 계획

질소산화물의 경우 선박엔진의 연료에 포함된 질소 또는 공기 중의 질소로 인해 생성되어 배출되고 있는데, 2016년 1월부터 신조되어지는 선박에서는 Tier III 규제가 발효되어 엔진에서 배출되는 질소산화물을 1 킬로와트(KW)당 3.4그램(g) 이하로 줄여야 한다. 이를 위해 선박 엔진제작사는 Tier III 엔진 인증을 받아서 선박에 공급해야 한다.



자료 : <https://www.green4sea.com/using-selective-catalytic-reduction-to-comply-with-nox-tier-iii/>

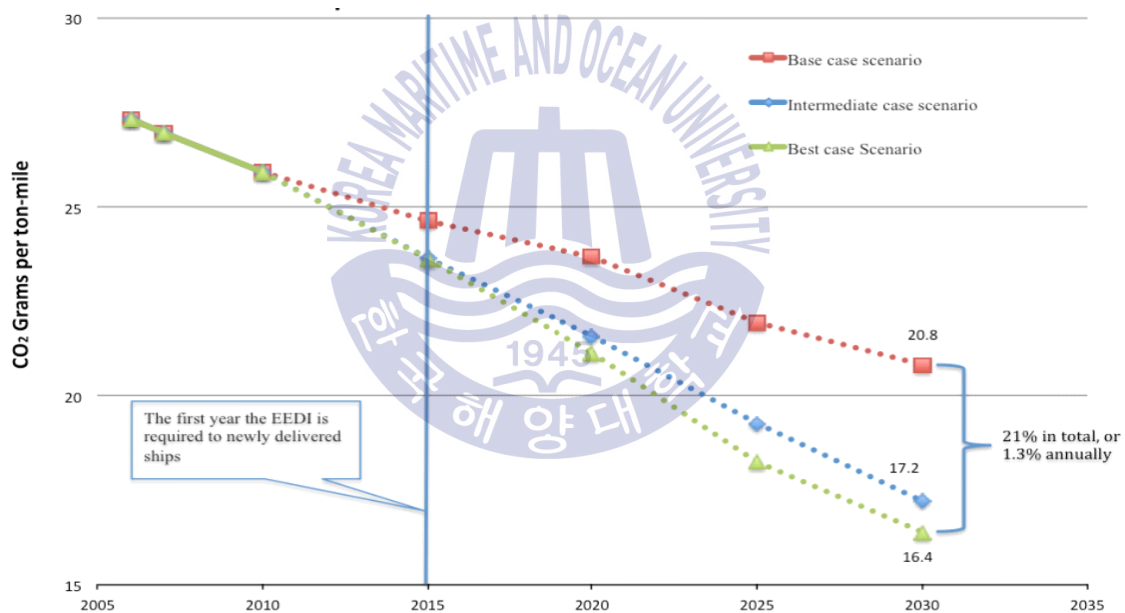
Fig. 5 신조선박에 대한 질소산화물 규제



선박에 의한 대기배출가스 중 온실가스 배출량은 전 세계기준으로 2007년 2.7%(8억 4,300만톤) 수준에서, 2050년에는 12~18% 수준으로 증가될 것으로 예상되고 있어 이에 대한 대처도 매우 중요한 문제로 대두되고 있다.

국제해사기구는 향후 온실가스 배출량 감축 목표를 2005년 배출량 기준에서 2020년까지 20%, 2050년까지는 50%로 설정하고, MARPOL Annex VI, Chapter 4에 따라 2013년 1월부터 건조되는 신조선박은 신조선에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)를 적용, 베이스라인을 준수한 선박만이 건조 운영되도록 하였다.

우리나라도 이러한 국제적 규제에 대응하기 위하여 2012년 12월 ‘해양환경관리법’에 선박온실가스 배출규제 기술지침을 포함시켰고, 2013년 1월부터는 400톤 이상 국제항해에 종사하는 선박에 대한 온실가스 규제를 단계적으로 시행하고 있다.



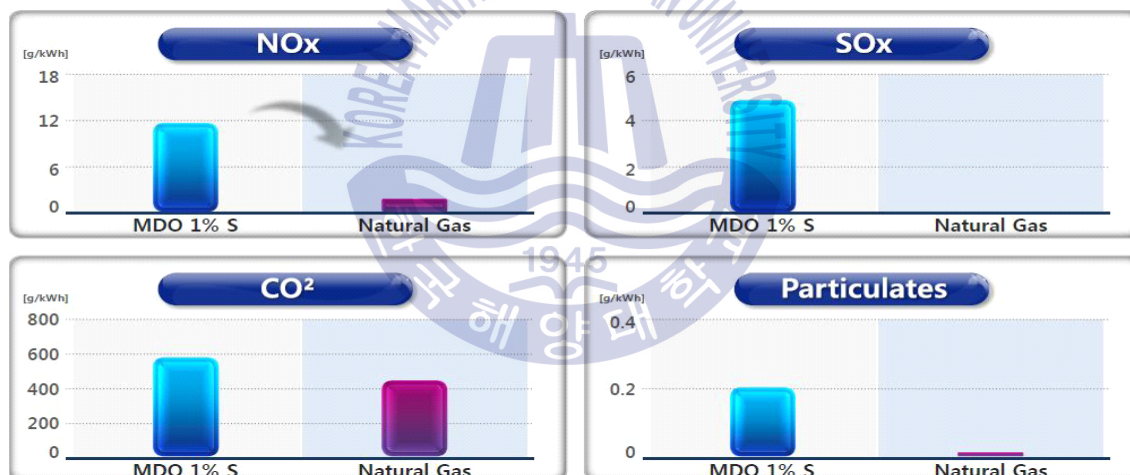
자료 : <http://www.theicct.org/blogs/staff/cutting-carbon-ships>

Fig. 6 EEDI 및 SEEMP 시행 후 CO2 강도 변화

이 같은 세계적인 대기환경에 대한 관심증대로 해운산업에 새롭고 엄격한 배출가스 기준들이 확대 적용됨에 따라 해운업계에서는 선박배출가스 기준을 만족시키면서 연료비 절감 등의 다양한 목적을 동시에 만족시킬 수 있는 해결방안들을 찾게 되었다.

여러 해결 방안 중에서 노르웨이를 시작으로 선박추진연료로 LNG의 사용이 점진적으로 진행되다가 경질유에 비하여 저렴하고 안정적인 천연가스 연료가격과 NOx 펀드 등의 영향으로 LNG 추진선박에 대한 관심과 보급에 급속한 탄력이 붙으면서 전 세계적으로 LNG 추진선박과 LNG 연료공급을 위한 인프라로서 LNG 병커링 선과 병커링 기지에 대한 관심도 대폭 상승하게 되었다. 또한 셰일가스(Shale Gas)<sup>7)</sup>개발에 의한 LNG 가격 안정과 새로운 LNG 수요개발 등으로 석유대체연료 및 선박 추진의 주 연료 적용 가능성에 대한 논의도 해운업계에서 본격화 되었다.

이와 관련하여 친환경 연료 LNG를 선박추진연료로 사용하는 경우 아래 Fig. 7과 같이 기존 석유계 연료에 비해 온실가스 배출 20%이상, 질소산화물 배출 80%이상, 황산화물 배출 90%이상을 감축할 수 있고 연비도 거의 대등한, 그리고 2014년 4/4분기부터 시작된 원유가격 하락으로 원유가격 연동의 장기계약 LNG 가격이 큰 폭으로 낮아져 LNG가 선주들에게는 경제적, 환경적 측면을 모두 만족시켜주는 매력적인 대안으로 평가 받고 있다.



자료 : 이창식, 2015. “LNG 병커링 산업 진출 전략에 관한 연구”, 한양대학교 공학대학원 석사학위논문

Fig. 7 배기가스별 절감효과

7) 셰일가스는 진흙이 수평으로 퇴적하여 굳어진 암석층(혈암, shale)에 함유된 천연 가스이다. 넓은 지역에 걸쳐 연속적인 형태로 분포되어 있어 추출이 어렵다는 기술적 문제가 있었으나, 1998년 그리스계 미국인 채굴업자 조지 미첼이 프래킹(fracking, 수압파쇄) 공법을 통해 상용화에 성공했다. 이는 모래와 화학 첨가물을 섞은 물을 시추관을 통해 지하 2~4km 밑의 바위에 5백~1천 기압으로 분사, 바위 속에 갇혀 있던 천연가스가 바위 틈새로 모이면 장비를 이용해 이를 뽑아내는 방식이다. 확인된 매장량은 187조 5000억 m<sup>3</sup>로 이는 전 세계가 60년간 사용할 수 있는 규모이며, 열량으로 환산하면 1687억 TOE(Tonnage of Oil Equivalent, 연료 간 비교를 위해 석유 기준으로 환산한 단위)로 석유매장량(1888억 TOE)과 비슷하다.

그러나 현 시점에서는 선주들이 대형 LNG 추진선박을 발주하려 해도 LNG 병커링 선 및 LNG 병커링 기지와 같은 연료 공급 인프라가 충분치 않은 관계로 발주 자체를 주저하게 되고, LNG 병커링 설비 투자 계획을 가진 해운기업들은 LNG 추진선의 보편화와 명확한 규정이 미흡하여 투자를 망설이고 있는 것이 사실이다.

그러한 가운데서도 선주사, 항만, 에너지 기업들 사이에서 LNG추진선박은 차츰 수요와 공급 기반을 넓혀갈 것으로 예상되어 지고 있다.<sup>8)</sup>

## 2.1.3 주요국 녹색해운 정책 및 전망

### 2.1.3.1 유럽연합 (EU) <sup>9)</sup>

EU는 2009년 10월 해운부문의 온실가스 배출량을 2020년까지 2005년 대비 20% 이상 감축할 것을 제안하였고, 최근에는 오염 제품 또는 관련 기술을 사용하는 소비자와 기업에도 세금을 부여하는 탄소세의 도입을 논의할 정도로 온실가스 대책에 적극적이고, 세계적인 친환경을 추구하는 선도적 역할을 하고 있다.

IMO에서 추진해 오던 선박배출 온실가스규제와 관련, 2012년 2월 유럽연합 재무장관 회의에서 항공업을 포함하여 탄소세 논의가 진행되었는데 이로 인하여 노후 선박 교체를 유도할 수 있는 탄소세 또는 배출권거래제도 등의 도입시기가 빨라질 수 있는 계기가 되었다.

탄소배출권 거래제도는 탄소배출권 할당 및 거래 방식에 따라 '기준인정방식'과 '총량제한방식'으로 구분한다. 기준인정방식은 기준배출량을 설정한 후 이보다 적게 배출한 만큼을 저감량 인정분으로 거래하는 방식이고, 총량제한방식은 배출량 한도를 정하고 그 만큼의 배출권을 할당하여 이를 거래하는 방식이다.

그러나 최근 탄소배출권거래는 배출되는 지역의 이동일 뿐 근본적인 온실가스 감축에 기여하지 못한다고 인식되어지고 있으며, 그 대안으로 탄소세를 도입해야 한다는 분위기가 조성되고 있다.

EU의 탄소세 부과 목적은 온실가스 저감 기술의 개발을 촉진시켜 간접적인 배출저감 효과를 유도하는데 있다. 1990년 1월 핀란드가 유럽에서 처음으로 탄소세 제도를 도입했으며 이후 네덜란드, 스웨덴, 노르웨이, 덴마크 등 북유럽 국가들을 중심으로 운영되고 있다.

---

8) 이창식, 상계서, p.10.

9) 물류신문, 2015. 녹색물류 도약을 위한 인식전환과 선진국가의 녹색물류 사례에서 본 시사점 1

EU는 선박으로부터의 황산화물(SOx) 배출규제 강화를 위하여 해양오염방지협약(MARPOL) 부속서 VI의 내용과 유사한 선박배출 황산화물(SOx)에 대한 감축 규정을 제정하였는데, 국제해사기구(IMO)의 협약에서 규정한 감축목표 보다 강화된 감축목표를 설정하였다.

또한 IMO 협약에 규정된 질소산화물(NOx) 감축목표가 배출통제구역(ECA)에서 2010년 7월 1일부터 1.0%/m 이하로 제한하던 것을, 2015년 1월 1일부로 0.1%/m 이하로 상향제한한 것에 반하여, EU 위원회는 아래 Table 2와 같이 황산화물 감축목표를 EU 항내에 정박하는 모든 선박에 대하여 2010년부터 0.1%/m 이하로 제한하고 있다.

Table 2 유럽연합(EU)의 황산화물(SOx) 배출규제 적용기준

시 기	대 상	내 용
2010.1.1. 이후	EU 항내 정박하는 선박	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 모든 연료유의 황 함유량을 0.1%/m 이하로 제한함</li> <li>▪ 정박 시에만 적용하고, 선박의 안전·구명의 목적으로 사용되는 연료유에 대해서는 적용하지 않음</li> <li>▪ 정박시간 2시간 미만 또는 정박 시 모든 선내 엔진을 정지하고 육상전력을 사용하는 경우 적용치 않음</li> </ul>

자료 : EU Directive/2005/33/EC

본 황산화물 배출 규제는 2010년 1월 1일부터 EU 항내에 정박하는 선박에 적용되고 있다. 황 함유량 0.1%/m 이하의 연료유를 사용해야 하는 것 외에도, 연료유 교환 절차서 및 기기 작동 매뉴얼의 선박비치 및 연료유 교환 시각과 EU 연료유 규정 적용에 관한 선원교육 사항들의 기록·유지를 준수하여야 한다.

또한 황산화물 배출규제 대상이 되는 기기는 선박 내에서 정박 시에 작동되는 모든 엔진과 보일러이지만, 선박이 2 시간미만 정박 또는 정박 시 모든 엔진을 정지하고 육상 전력만을 사용하는 경우에만 규제 대상에 해당되지 않는다. 하지만 본 규정을 준수하지 아니하는 선박이 EU지역 항만에 정박하는 경우에는 벌금 부과나 처벌을 받게 된다.

육상전력장치 사용 장려를 위하여 EU 위원회는 2006년 5월 8일 EU 위원회 권고인 2006/339/EC 문서를 통해서, 당시의 추세라면 2020년에는 육상수송부문보다 해상수송부문이 대기오염 배출에 더 큰 영향을 미치는 상황이 올 수 있다고 강조하면서, 자국 항만에 선박이 사용 할 수 있는 육상전력 공급장치를 설치하고, 이를 사용하는 해운선사에게 경제적 이득을 줄 것을 권고하였으며, 동시에 국제해사기구(IMO)는 EU 회원국들에게 항만의 육상전력장치 국제표준화에 힘써 줄 것을 주문하였다.

도로를 이용한 화물운송을 보다 환경 친화적인 운송수단으로 전환하는 ‘모달 쉬프트’ (Modal Shift)를 통한 탄소 감축과 동시에 재정적으로 지원금을 받을 수 있는 마르코 폴로 프로그램(Marco Polo Program)도 아래 Table 3과 같이 운용중이다.

지원금 산정기준은 운송수단전환 물량에 대해 2유로/500톤km 적용 값과 이로 인한 추가 발생비용의 35% 중 낮은 것을 기준으로 하며 기업이 지원금을 받기 위해서는 반드시 ① 도로운송에서 철도나 해상운송으로의 모달 쉬프트, ② 주요항구를 잇는 고속도로 건설, ③ 모달 쉬프트를 촉진시키는 촉매활동, ④ 교통 발생 저감 활동, ⑤ 일반적인 학습 활동의 5가지 영역 중 하나를 만족시켜야 한다.

이러한 기준을 만족한 기업들 중 ① 운송된 화물의 양, ② 보조금의 고정 비율, ③ 보조금의 지급 기간, ④ 적격비용 공유 상한선 등을 모두 만족한 기업 중 가장 뛰어난 상위 기업에게 지원금이 수여되고 있는데 프로그램이 시작된 이후 이미 500개가 넘는 회사들이 성공적으로 프로젝트를 마쳤고, 매년 새로운 프로젝트들이 지원금을 받고 있음

Table 3 마르코 폴로 I, II 프로그램 개요

구분	세부 내용	예산
1단계 (’03년~’06년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 직접적인 Modal Shift 지원                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 해상운송을 위한 선박 및 설비 도입</li> <li>▪ 신규 운송서비스 개설</li> <li>▪ 철도운송을 위한 시설 및 장비 도입</li> <li>▪ 셔틀서비스 개설 등</li> </ul> </li> </ul>	총 1억 유로
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 친환경 운송사업 전환 지원</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화물운송부문에서의 정보, 협력을 강화하는 사업 부문 지원</li> </ul>	
2단계 (’07년~’13년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Door-to-Door 서비스를 근해 해운을 포함하여 복합운송 사업 수행에 대한 지원</li> </ul>	총 4억 5,000만 유로
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 공로수송 감소 목적 운영지원시스템</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화물 통제 시스템</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 관련 IT 기술 개발</li> </ul>	

자료 : [http://www.welcomeurope.com/european-funds/marco-polo-ii-461+361.html#tab=onglet\\_details](http://www.welcomeurope.com/european-funds/marco-polo-ii-461+361.html#tab=onglet_details) 참고 후 재작성

### 2.1.3.2 덴마크 10)

덴마크는 친환경해운 관련 정책 대응을 위하여 해운청을 중심으로 환경부, 국방부 등의 주체가 관여하고 있는데, 특히 IMO의 국제협약은 해운청이 중심이 되어 대응하고 있다.

해운청을 중심으로 한 효율적인 친환경해운 정책대응으로 아래 Table 4와 같이 2005년 덴마크 국내 운항선박의 연료소비와 질소산화물 배출량은 1995년 대비 45% 감소했으며, 황산화물 배출량은 81% 감소했다. 또한 외항 해운부문의 연료소비도 14% 감소, 황산화물 배출량은 14% 감소하였고 질소산화물 배출량만 1% 증가하였다.

Table 4 덴마크 해운부문에서의 NOx와 SOx 배출감축

구분		1995년 대비 2005년 감축량	
내항해운	배출량 비중	NOx	-45%
		SO2	-81%
	연료소비	-45%	
외항해운	배출량 비중	NOx	+1%
		SO2	-14%
	연료소비	-14%	

자료 : Morten Winter, 2008. New National Emission Inventory for Navigation in Navigation in Denmark, National Environmental Research Institute

이러한 질소산화물과 황산화물의 감축 실적은 덴마크 해운청, 환경부 및 해운업계 등에서 선박 배출가스로 인한 대기오염에 적극적으로 대응함과 더불어 머스크를 위시한 해운업계와 선박기자재 업체가 오염물질을 저감하는 장비 개발과 도입에 노력한 결과이다.

덴마크는 산·학·연·관이 협력하여 친환경선박 개발을 위해 덴마크 해운, 조선 관련 기업인 머스크, 알보그, 만디젤, 오펜세 조선소 4개 기업이 주축이 되어 아래의 Table 5와 같이 ‘미래 녹색선박(Green Ship of the Future)’ 프로젝트를 진행하였으며, 프로젝트 참여기관은 덴마크 선박기자재업체, 해운선사, 조선소, 덴마크 해운청, 덴마크 조선기자재협회, 덴마크 조선협회, 덴마크 선주협회 등이다.

10) 한국해양수산개발원, 2010. “녹색해운 전망과 대응전략”

본 프로젝트를 통하여 현존선과 신조선을 대상으로 한 온실가스 배출량을 30% 절감하고 질소산화물과 황산화물 배출량을 각각 90% 절감을 목표로 하여 추진장치, 기계설비, 선박운영, 물류부분으로 구분하여 연구를 진행하였다. 현재 진행되고 있는 연구는 폐열회수시스템, 주기관 자동조절장치 등 기계설비 프로젝트와 방오도료, 생산성 모니터링 등 운영에 관한 프로젝트가 주종을 이루고 있으며 ‘오염물질 배출저감 선박 개념연구’의 공동수행에도 합의하였다.

**Table 5** Green Ship of the Future 프로젝트

구분		유해물질 배출 감축효과
기계설비	배기가스 세정장치	CO <sub>2</sub> 3%, SO <sub>x</sub> 98%, PM 80% 감축
	Floating Cooling Lab	선박의 환경적 요소와 경제성을 고려해 신조 시 여러 대안 중 최적 패키지 선택
	폐열회수장치	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 7-14% 절감
	Turbo Charging	연료소비 절감, CO <sub>2</sub> 및 NO <sub>x</sub> 절감, 배출가스 재순환 시스템 실현
	펌프 및 냉각수 시스템 최적화	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 1.5% 절감
	CO <sub>2</sub> 배출 및 연료 효율 최적화	연료효율 개선을 통한 CO <sub>2</sub> 배출 절감
	SCR 장치	NO <sub>x</sub> 80% 절감
운영	생산성 모니터링 및 선박형태 균형 최적화	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 3% 절감
	신 실리콘 방오도료 사용 효율 모니터링	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 3-8% 절감
	운영항로 효율화를 통한 연료절감	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 2% 절감

자료 : Green Ship of the Future 웹사이트 (<http://greenship.org/>)

연구 진행 중인 선박 대기오염물질 배출저감 주요 기술은 프로펠러 구조개선, 특수 노즐, 배기가스재순환시스템, LNG 보조엔진, 폐열회수시스템, 배기가스 세정장치, WIF(Water in Fuel System), 선체페인트, 펌프 및 냉각수 최적화 등 9가지이다.

### 2.1.3.3 네덜란드

네덜란드는 물류 공간, 산업 공간, 주거공간이 공존하는 친환경적인 자립형 물류 공간인 그린포트(Green Port) 활성화 정책을 통하여 지속가능한 성장을 도모하고 있다.

유럽의 최대항으로 세계 11위의 컨테이너 물동량을 처리하는 로테르담항은 미국의 롱비치항과 함께 대표적인 그린 포트로의 성공사례 항만으로서 환경부하 문제개선을 위하여 아래 Table 6과 같이 녹색항만 구축사업을 시작하였다.

‘로테르담 기후 이니셔티브(Rotterdam Climate Initiative, RCI)’를 2007년에 수립하여 온실가스배출량을 1990년 대비 2020년 50% 감축, 2035년 80% 감축을 목표로 수립하였다. 또한 온실가스 감축을 위한 대체 에너지원으로서 바이오매스가 부각되자 유럽최대의 바이오매스 산업단지 구축을 목표로 도시와의 연계성을 강화하고 있다.

로테르담 기후 이니셔티브의 대표적인 사업 3가지는 다음과 같다.

첫째, 지속가능 에너지 및 바이오매스의 활용이다

로테르담항은 2020년까지 생산되는 에너지의 20%가 지속가능 에너지여야 한다는 지자체 간의 규약에 따라 바이오매스를 활용하는 연구를 진행하고 있으며 2025년부터는 매년 300만 톤의 바이오매스를 이용해 에너지를 공급할 예정이며, 이를 통해 450만 톤의 온실가스를 저감할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

또한 2025년까지 로테르담 지역 내에서 350MW의 풍력 에너지를 생산할 계획으로 2020년까지 현재 용량의 두 배에 달하는 300MW의 풍력 에너지를 생산할 수 있는 풍차를 공유지에 건설하고, 사유지에도 풍차를 설치하는 프로젝트를 진행할 예정이다.

둘째, 탄소 포집 및 저장(CCS)<sup>11)</sup>프로젝트이다

이 프로젝트는 이산화탄소를 포집하여 재사용하거나 다른 지역으로 운송할 수 있는 기술력을 활용하여 이산화탄소를 저장함으로써 단기간에 효과적으로 이산화탄소 배출량을 감축시킬 수 있는데 로테르담항의 산업 클러스터는 네덜란드 북해 아래에 있는 해안이 이산화탄소 저장고 가까이에 있기 때문에 이산화탄소 공동운송 및 저장이 유리하여 만약 이러한 네트워크를 가지게 된다면 로테르담항이 인근 엔트워프와 루르 지역 사이의 이산화탄소 허브로 운영되고, 북해가 이산화탄소 저장고로 활용될 수도 있다.

---

11) Carbon Capture & Storage는 화석연료에서 발생하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 대기로 배출하기 전에 추출한 후 압력을 가해 액체 상태로 만들어 저장하는 기술을 말한다. 저장소로 운반된 CO<sub>2</sub>는 해양저장·광물탄산화·지중저장의 3가지 방식으로 처분된다. 이 중에서 해양저장은 CO<sub>2</sub>를 바다 밑에 가라앉혀 처분하는 방식인데 해양 생태계에 부정적인 영향을 미치기 때문에 현재 국제협약에 따라 금지됐다. 한편, 탄소 포집·저장(CCS)국제회의가 2009년 5월 27~28일 노르웨이 베르겐에서 개최됐는데 노르웨이는 CCS가 중·단기적으로 온실가스 배출을 줄이고 지구온난화를 막을 수 있는 가장 현실적인 대안이라며 각국에 기술 개발에 대한 지지와 참여를 요청한 바 있다.



셋째, 저탄소 배출운송수단(철도)으로의 모달시프트 장려활동이다.

로테르담항은 철도와 항구를 바로 연결시켜 문전운송에서 필요했던 도로운송으로의 환적단계를 없앴으로써 환경과 비용을 모두 생각하는 모달시프트의 일종인 블록트레인(Block Train)시스템을 갖추고 있다.

Table 6 로테르담항 주요 녹색항만 사업

항목		내용
종합 사항	비전수립	Rotterdam Climate Initiative(RCI) 수립
	조직/홍보	정부, 지역, 항만공사, 민간기업 간 협력 네트워크 구성
세부 정책	온실가스 (저탄소)	육상전원공급(AMP) 시설 도입, 철송시설의 지속적인 확충 그린선박 인증제도, LNG 추진 예인선 도입 추진 세계항만기후 이니셔티브(WPCI) 탄소발자국(Carbon Footprint) 시행 항만 내 화석연료 발전설비를 고려한 탄소포집, 수송, 저장을 위한 연구사업 진행
	환경부하	선박 저유황유 사용 의무화, 청소차량 기차 등의 연료 전기화

자료 : 인천항만공사, 2013. 인천항 GREEN Port 구축 종합계획수립

#### 2.1.3.4 미국 12)

연방환경보호국(EPA)은 항만 운영개선 전략 및 기술향상 전략 등의 2개 전략을 이용하여 항만구역 내 오염물질 배출을 저감하려는 정책인 청정항만 프로그램을 2009년부터 시행하고 있는데 항만운영 개선전략으로 항만구역에서 화물수송 차량의 대기시간 감소, 항만 생산성 향상, 육상전력 이용, 터미널 이용계약 내용관리의 운영 등을 추진하고 있고, 기술향상 전략으로는 신형 엔진 사용, 오염물질 배출장치 교체, 엔진 장치의 개조 및 수리 등을 통한 대기오염물질 배출 저감을 추진하고 있다.

미국의 친환경선박 관련 해운정책은 연방정부차원의 규제보다는 지방정부차원 특히 캘리포니아 주를 중심으로 한 서부지역 지방정부 차원에서의 규제가 더 강력한 편이다. 미국 캘리포니아 주의 황산화물 배출규제는 캘리포니아 행정법국에서 대기 자원 위원회가 제출한 연료유 황 함량 규제 조건을 승인하여 2009년 7월 1일부로 발효되었고 발효시점부터 2011년까지는 MDO와 MGO를 구분하여 적용하였으나, 2012년부터는 구분 없이 황산화물 함량이 0.1% m/m 이하인 연료유를 사용하도록 규제하고 있다.

12) 물류신문, 2015. 녹색물류 도약을 위한 인식전환과 선진국가의 녹색물류 사례에서 본 시사점 1

그리고 2009년 2월 6일부터 미국 내수면 또는 영해 3마일 이내에서 운항에 따른 오염 물질을 배출하는 모든 상업용 선박들은 연방환경보호국(EPA)의 선박 오염물질 배출허가를 준수하고 허용범위 허가서를 필요로 하고 있다.

또한, 미국 로스엔젤레스항과 롱비치항은 입출항 시의 속도를 12노트까지 감속하도록 하는 자발적인 선박감속 프로그램에 참여하였으며, 2005년에는 롱비치항이 본 프로그램에 참가하는 선박에 인센티브를 부여하였는데 이러한 선박감속 프로그램은 선박의 특별한 개조 없이도 대기오염물질을 저감할 수 있는 장점이 있다.

그리고 2007년 12월 미국 캘리포니아 주 대기자원위원회는 캘리포니아 지역의 항만에 정박하는 컨테이너선, 여객선, 냉동화물선 등의 보조 디젤엔진의 대기오염물질 배출을 저감하기 위하여, 선박이 항만에 정박하는 동안에 보조엔진을 끄고 육상 전력을 사용하거나, 그와 동등한 배출저감 효과를 지닌 제어기술을 사용해야 하는 법안을 승인하였다.

미국 환경청(EPA)과 화물업계는 온실가스 및 대기오염물질 배출 억제, 에너지 효율 향상, 에너지 안전제고 등을 위하여 2004년 2월부터 혁신적인 공동 협력 체계인 스마트웨이 프로그램(Smartway Program)을 시행하고 있다.

본 프로그램의 주요 목표는 수송화물의 연료소비 및 화물수송과 결부된 운영비, 이산화탄소, 질산화물, 미세먼지(PM) 및 기타 독성물질의 대기 배출을 감축하기 위한 것으로 본 프로그램의 종류에는 ① 스마트웨이 트랜스포트 파트너십(Smartway Transport Partnership), ② 스마트웨이 차량(Smartway Vehicles), ③ 스마트웨이 테크놀로지 프로그램(Smartway Technology program), ④ 스마트웨이 인터내셔널 인터레스츠(Smartway International Interests) 등의 4가지가 있다.

본 프로그램이 도입된 2004년 이후 스마트웨이 파트너(2014년 6월 기준으로 포춘지 500대 기업을 포함한 주요 화물운수업체, 트럭회사, 철도, 해운회사, 물류기업, 교역·전문협회 등 3,036개 회원사)들은 1억 2,070만 배럴에 달하는 원유를 절약하였고, 이는 1년 내내 1,000만대의 자동차가 운행하지 않는 정도의 양으로서, 비용으로 따지면 168억 달러의 연료비를 절약한 것이며, 또한 5,160만 톤의 이산화탄소, 73만 8,000톤의 질산화물, 3만 7,000톤의 미세먼지 배출량 감축을 달성하였다.

LA/LB항은 2050년에 2006년 대비 80%의 온실가스 감축을 목표로 녹색항만정책(Green Port Policy)을 아래의 Table 7과 같이 수립하였으며 특히 LB항은 그린포트 선도항만으로서, 해외 항만에 그린포트 컨설팅을 해주는 신사업화를 추진 중에 있다.

Table 7 미국 LA/LB항 주요 녹색항만 사업

항목		내용
종합 사항	비전수립	2005년 LB항 'Green Port Policy' 수립
	조직/홍보	캘리포니아 주정부 차원의 '캘리포니아 대기자원위원회(CARB)' 정부, 지역, 항만공사, 민간기업 간 협력 네트워크 구성 항만환경최고전문가 등 그린포트 관련 전문 직위 신설 그린포트 축제(Green Port Fest) 등 홍보행사 진행
세부 정책	온실가스 (저탄소)	AMP 시설 도입, 철송시설 확충, LNG 추진선 도입 검토 그린임대계약(Green Lease) 시행, WPCI 탄소발자국(Carbon Footprint) 프로그램 참여 탄소배출량 계산기(Carbon Calculator) 개발 및 고도화
	환경부하	클린에어액션플랜(CAAP), 수질개선사업, 환경관리시스템 구축 청정트럭프로그램(Clean Truck Program)

자료 : 인천항만공사, 2013. 인천항 GREEN Port 구축 종합계획수립

### 2.1.3.5 일본<sup>13)</sup>

일본은 1997년 유엔기후변화협약 교토의정서 채택 이후에 IMO 등의 국제사회에서 적극적인 온실가스 감축 활동을 벌여오고 있다. 이를 위한 온실가스 대응 정책으로 기본적으로는 IMO의 온실 가스 배출규제에 적극 동참하면서 오염물질 배출 저감을 위한 친환경 해운정책들을 적극적으로 실시하고 있다.

일본은 IMO 협약 제정에 참여하기에 앞서 활발한 연구개발을 통해 자국 선사 및 자국 영해에 미치는 영향 등을 분석하고 IMO 회의에서 다양한 의견을 개진함으로써 IMO 선박 환경규제에 적극적으로 대응하고 있다. 예를 들어, 일본은 선박에서의 대기오염물질 배출규제해역(ECA)에 관한 기술검토위원회를 2010년 2월 국토교통성에서 개최하여 시뮬레이션 등의 연구를 통하여 일본의 대기오염 상태를 평가하고 일본 해역을 배출규제해역(ECA) 으로 고려할 것을 IMO에서 논의한 바가 있다.

13) 물류신문, 2015. 녹색물류 도약을 위한 인식전환과 선진국가의 녹색물류 사례에서 본 시사점 1

일본의 친환경 기술개발 지원 사업 사례로는 재래선박에 대해 온실가스 배출을 30% 저감하는 기술을 개발하려는 목표로 '선박에서의 온실가스 저감 기술개발 지원 사업'을 국토교통성에서 2009년부터 4개년 계획으로 시작하였다. 동 사업은 온실가스 배출저감에 관한 민간의 기술개발에 대한 정부의 지원정책으로서 개발비의 약 1/3 정도를 보조하고 있다.

일본 정부는 연안 해운에서도 에너지 절약 대책을 수립하도록 하기 위하여 '에너지 사용 합리화에 관한 법률(에너지절약법)' 개정을 하였다. 그 동안 연안해운 운송업자들 대부분은 선복량 과잉에 따른 장기 운임저하와 연료비 상승으로 인한 경영악화로 친환경 선박으로의 교체가 어려운 실정이었다고, 또한 연안 해운 소속 선원의 고령화 추세로 인한 노동력 부족 문제마저 심화되어 선내 노동 환경을 개선하고 간소화할 필요가 있었다. 이에 따라 효율적이고 양질의 운송 서비스 제공이 가능한, 환경성능이 뛰어나고 경제성이 있는 차세대 친환경 선박의 개발이 필요하게 되었다.

이를 위해 일본 정부조직에서는 국토교통성이 친환경 선박의 연구개발 및 실용화를 주도하고 있으며, 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO)와 일본철도운수기구(JRJT)는 친환경 선박의 보급을 위한 경제적 지원을 담당하고 있다.

국토교통성은 2009년 저탄소 설비의 설치를 위하여 저탄소화 개조사업 및 저탄소형 중고선박을 구매하는 저탄소형 중고선 대체사업 등이 포함된 '해상교통저탄소화 촉진사업비 보조제도'에 50억 엔의 예산을 책정하기도 했다.

NEDO의 보조금 지원대상은 국토교통성이 정한 지침에 맞는 에너지 저감 설비에 한하여 설치비용의 1/3을 지원하였고, JRJT는 정해진 친환경선박 기준에 적합한 선박을 건조할 수 있도록 장기상환이 가능하며 낮은 사업금리 지원으로 선가를 경감시킬 수 있도록 하였다.

일본 연구소 및 산업체는 2001~2007년 기간 동안 일본해상기술안전연구소(NMRI)를 중심으로 가와사키 중공업, 미쓰이 조선소, 다이요우 전기, 나카시마 프로펠러 등 4개의 회사로 구성된 '친환경 기술연구조합'을 만들어 친환경선박의 연구·개발 및 실선 시험을 통하여 이를 검증하였다.

### 2.1.3.6 싱가포르

싱가포르 정부는 항만청(MPA)과 무역/산업부(SPRING)의 협력을 통해 LNG 병커링 표준화 작업을 진행하였다. 또한 LNG연료추진선 확대를 위한 정책으로 케펠 (Keppel)사의 LNG연료추진 예인선 건조 프로젝트를 위하여 척당 2백만 불(싱가포르달러)로 6척을 건조 지원하는 정책을 확정하였다.

또한 항만 내 LNG 연료추진선에 대한 입항료를 5년간 면제하는 정책도 발표하였고, LNG 병커링 사업자로 Shell/Keppel사, 파빌리온(Pavillion)가스 2개사를 선정하여 2018년에 파일럿 LNG 병커링, 2020년에는 본격적 LNG 병커링을 준비하고 있다. (Table 8 참조)

Table 8 싱가포르항 주요 녹색항만 사업

항목		내용
종합 사항	비전수립	Maritime Singapore Green Initiative(MSGI) 수립
	조직/홍보	정부, 항만공사, 민간기업 간 협력 네트워크 구성
세부 정책	온실가스(저탄소)	Green Ship 프로그램(GSP), Green Technologies 프로그램(GTP)
	환경부하	Green Port 프로그램(GPP)

자료 : 인천항만공사, 2013. 인천항 GREEN Port 구축 종합계획수립

### 2.1.3.7 중국

중국 정부는 심각해지는 자국 내 대기환경 개선을 위하여 2016년에 배출가스 통제해역(ECA) 3곳을 지정하였는데 이러한 규제를 만족시키기 위해 중국내 LNG 연료추진선박의 대폭적인 증가가 예상되어 지고 있다.

중국은 친환경 연료인 LNG의 사용이 자동차, 철도 및 선박분야에 확대되고 있으며, 2015년 말 중국내 통계에 따르면 ① 운항 중 선박 99척, ② 건조 중 선박 400척, ③ 주문된 선박 1,100척, ④ 운항선박 중 개조선박은 37척, ⑤ 신조 62척으로, 약 1,600척의 LNG연료추진선이 운항·개조·건조 중 또는 발주된 것으로 중국 수은국에서 보고하고 있다.

중국에서의 LNG 병커링은 크게 3가지 타입(Truck/Station to Ship, Pontoon형, Ship to Ship)으로 나눌 수 있으며, 이러한 LNG 병커링은 베이징-항저우 내륙운하 10곳, 시장 1곳, 양자강 5곳에서 운영 중에 있다.

또한 중국은 현재 비공인 LNG 추진선박 약 200여척이 취항 중이며, 중국 Waterborne Transport 연구소에 따르면 향후 약 4만7,000척의 내륙 운항선박들이 LNG 연료추진선박으로 개조되고, 약 1만 척의 LNG 추진선박이 2017~2020년 사이에 새롭게 건조될 것으로 전망하고 있다. 이와 관련하여 중국선급협회(CCS) 주도하에 LNG 추진선과 LNG 병커링 관련한 법과 표준이 준비 중에 있다.

## 2.2 LNG 추진선 현황 및 전망

### 2.2.1 LNG 추진선 필요성

전 세계적으로 강화되고 있는 선박의 배출가스 규제에 대응하기 위하여 기존 연료유를 사용하면서 배출가스를 정화하는 후처리설비(Scrubber), 배기가스 재순환장치(EGR: Exhaust Gas Recirculation), 저온탈질설비(SCR: Selective Catalytic Reduction)를 추가 설치하거나 선박연료유를 LNG 또는 LSFO로 변경하는 등의 다양한 대안들이 제시되고 있다. 각 대안별 배출가스 감소량과 장단점은 아래의 Table 9, 10과 같다.

Table 9 대안별 배출가스 감소량

구분	NOx 감소	SOx 감소	GHG 감소	PM 감소
LNG	4행정:90%, 2행정:40%	90~100%	15%	90%
LSFO	-	약 80%	-	약 20%
Scrubber	-	90~95%	1~2%	80~85%
SCR	4행정:90%	-	-	20~40%
EGR	20~40%	-	-	소폭 증가
DWI(물기반 기술)	20~40%	-	소폭 증가	-
HAM	20~40%	-	-	-
엔진개조	20~40%	-	소폭 증가	감소불능

자료 : DNV Korea, 2013. 동남권 LNG 병커링 기본계획수립 연구, 한국가스공사/경남에너지, p45.

Table 10 대안별 장단점

구분	장점	단점
LNG	저렴한 연료비, 유지비 감소 SOx(~100%), NOx(~90%) 감소 PM(~90%), CO <sub>2</sub> 감소 연료유 청정기 없음	개조가 어려움, 화물 공간 감소 기반시설 제한, 취급 인원 훈련 필요 건조비용 증가
LSFO	설비 교체 및 추가 비용 없음 SOx 감소, 열처리가 필요 없음	비싼 연료비, 연료의 기록 필요 연료 가격이 증가할 것으로 예상 CO <sub>2</sub> 저감 없음, NOx 처리 필요 연료 전환 문제 발생
Scrubber	기존 선박연료 사용 SOx, PM 감소	이용가능 공간 축소, 추가 투자비용 발생 운영비 및 운용에너지 증가

자료 : DNV Korea, 2013. 동남권 LNG 병커링 기본계획수립 연구, 한국가스공사/경남에너지, pp45-46.

상기 Table 10에서는 LNG 연료가 기존 선박 연료유 대비 황산화물의 배출량을 거의 100% 감소시킬 수 있고, 4행정 사이클 엔진의 경우 질소산화물도 최대 90%까지 저감할 수 있으며 미세먼지도 90% 감소시킬 수 있고, 온실가스(CO2)의 경우 15%까지 줄일 수 있어서 가장 이상적인 대안으로 평가되고 있다.

또한, LNG 추진선의 경우 가스전용 엔진은 코일, 처리 설비, 정화장치, 서비스 및 침전탱크가 있는 기존의 연료 가열 시스템 등이 필요하지 않지만 개조하기 어렵고 기존 연료선박에 비해 큰 연료탱크, 가스 시스템, 엔진이 필요하기 때문에 비용이 증가하게 된다. 또한 큰 연료탱크로 인해 화물 적재공간이 줄어들 수 있으며, 극저온/인화성 물질 취급으로 인하여 승조원들에게 특별한 교육, 훈련 등이 필요한 문제점도 존재한다.

반면 기존 연료유를 탈황 및 분해하여 생산하는 저유황연료유(LSFO: Low Sulfur Fuel Oil)는 황산화물의 배출은 상당히 줄일 수 있지만 질소산화물과 이산화탄소의 저감 효과가 없기 때문에 추가적인 설비가 필요하고 또한 기존 선박연료 대비 1.5~2.2배의 가격으로 연료비가 증가하게 되고, 배출가스 규제에 의한 수요 증가 시 가격이 지속적으로 상승할 것으로 예상된다.

한편 선박의 배출가스를 감축시키기 위해 후처리설비(Scrubber)를 추가할 경우 기존 선박연료인 화석연료를 사용할 수 있고, 황산화물과 미세먼지를 감소시킬 수 있다. 하지만 후처리설비를 위한 추가 비용이 발생하고, 이용가능 공간이 감소하여 화물처리 능력이 저하되며 운영비용 및 운용으로 인한 에너지 소비 또한 증가 예상된다. 그리고 질소산화물의 저감 정도를 판별할 수 없으며, 황산화물이 용해된 수 처리에 대한 문제도 상존하게 된다.

따라서 궁극적으로 황산화물의 배출규제가 ECA는 0.1%, 이외의 해역은 0.5% 로 확대 될 것이 명확하므로, 상기에 기술된 선박 배출가스 규제에 대한 대안의 장단점을 비교해 볼 때 결국 선박 배기가스 규제에 대한 대응방안은 LNG와 LSFO 중 선택의 문제로 귀결 될 것으로 예상된다.

## 2.2.2 LNG 추진선 국내외 현황

### 2.2.2.1 LNG 추진선 국외현황

선박의 LNG 추진 기술은 현재 중소형 선박은 물론 대형선박에까지 적용되고 있고 점차 적용범위도 확대되어 가고 있는 추세이다. 지금까지는 북유럽의 노르웨이, 덴마크, 스웨덴 등에서 소형 연안 페리선과 같은 선박에 적용되어 왔으나 최근에는 아래 Table 11 과 같이 다양한 선종의 선박들이 운항되고 있거나 건조 중에 있다.

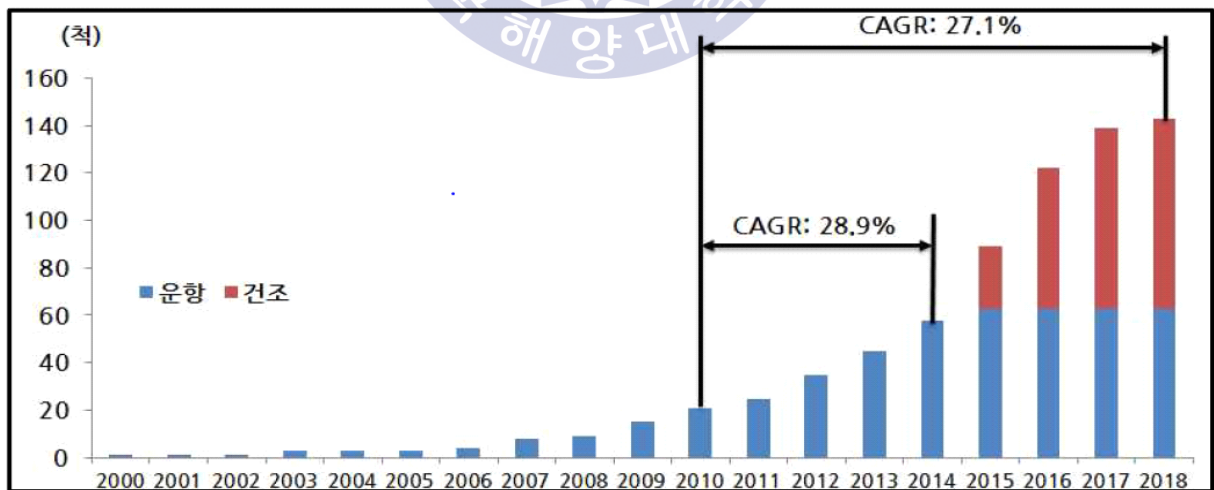
Table 11 주요선사 LNG 추진선 도입현황

선사	내용	비고
TOTE	LNG 추진선으로 개조(세계최초 LNG추진 컨테이너선 운영)	2014
UASC	LNG Ready Ship 17척 발주	2014
MAERSK, UASC	Shell, Qatargas와 선박연료 LNG 공급 MOU 체결	2016
CMA-CGM	Total사와 선박연료유(LNG, 저유황유, HFO) 공급 MOU 체결	2017
UECC	세계 최초 LNG 추진 자동차 운반선 발주(2014) 및 인도	2016
Carnival Co.	환경규제 강화에 대비 신조선의 20% 이상 LNG추진선 발주	2017
Royal Caribbean Cruise		
MSC Cruise 등		

자료 : 한국해양수산개발원, 2017. 동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 병커링 터미널 구축 서둘러야, KMI 동향분석

DNV-GL자료에 의하면 아래의 Fig. 8과 같이 2015년 5월 기점으로 약 90여척의 LNG 연료 추진선이 운항 또는 건조 중이고, 2010~2018년 기간 연평균 증가율은 27.1%로 예상된다.

또한 로이드선급 자료에 따르면 2012~2025년 기간 중 누계 LNG 연료추진선 신조는 653척(기본)~1,962척(긍정)으로 전망하고 있으며, 긍정적인 경우 벌크선 890척(45.4%), 원유운반선 466척(23.8%), 컨테이너선 277척(14.1%)이 신조될 것으로 예상하였다.<sup>14)</sup>



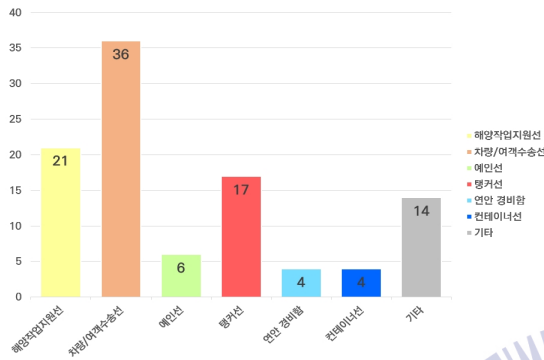
자료: DNV-GL, 2015. "In focus - LNG as Ship Fuel", p.43.

Fig. 8 LNG 추진선 증가 추세

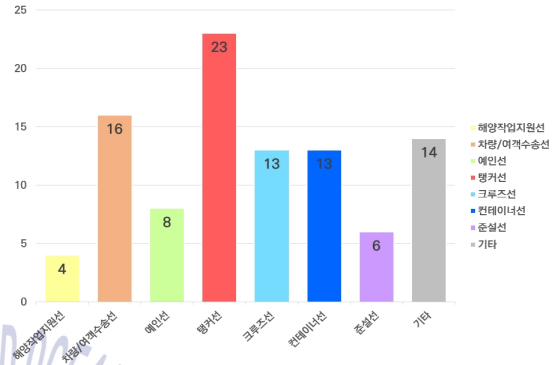
14) Lloyd's Register, 2012. "LNG-fuelled deep sea shipping-The outlook for LNG bunker and LNG-fuelled newbuild demand up to 2025", pp.16-25.



아래 Fig. 9 및 10에서 보는 바와 같이 2017년 4월 기준 전 세계 LNG 연료추진 운항 선박은 총 102척으로서 추가로 97척 발주 예정이며, 건조 예정 선종별로는 탱커선 23척, 차랑/여객선 16척, 컨테이너선 13척, 크루즈선 13척, 예인선 8척 등이 있다. 또한 기존의 LNG추진선 보유 국가 외에 미국, 영국, 덴마크, 호주, 독일, 한국 등 다양한 국적이 건조하고 있다.



자료 : LNG World Shipping, 2017.



자료 : LNG World Shipping, 2017.

Fig. 9 전 세계 LNG 추진선

Fig. 10 건조 예정 LNG 추진선

최초의 LNG 연료추진 컨테이너선은 2012년 미국 해운선사 TOTE사가 발주하여 2015년 4월 미국 나스코(NASSCO) 조선소에서 건조된 3,100 TEU급 컨테이너선 ‘이슬라 벨라 (Isla Bella)’호이다. (Fig. 11 참조)



자료 : <http://www.gibraltar-shipping.com/key-interviews/interview-peter-keller-executive-vice-president-tote-inc>

Fig. 11 Isla Bella호 전경

하지만 최근 건조되고 있는 LNG-Ready 선박은 LNG 병커링 선 및 LNG 병커링 기지 등의 여건으로 인하여 병커C유를 사용하는 엔진을 탑재하지만 향후 LNG로 사용 가능한 엔진으로 변경 가능한 과도기적 성격을 지니고 있으며, 2015년 5월 현대 삼호중공업에서 18,800 TEU급 컨테이너선 바잔호가 건조되어 인도된 바 있다.

### 2.2.2.2 LNG 추진선 국내현황

현재 국내 친환경 선박으로는 인천항만공사가 운영 중인 LNG 추진선 ‘에코누리호’가 유일하다. 에코누리호는 선박에 LNG 연료를 충전할 수 있도록 하는 도시가스사업법 관련 규정 개정(안)이 마련되자, 인천항만공사가 LNG 연료추진선 건조를 결정하여 2011년 9월 삼성중공업에서 설계하고 동성조선에서 건조를 한, 아시아 최초의 친환경 LNG 연료 추진선으로 인천항만공사 투자유치 목적의 항만 홍보선 역할, 포트마케팅, 안전사고 발생 시 등의 대응 필요 시 역할들을 수행하고 있다. (Fig. 12 참조)



자료 : <http://www.mediakn.com/news/article.html?no=3820>

Fig. 12 병커링중인 에코누리호

그리고 일반상선으로서의 첫 LNG 추진선은 국내 해운사인 일신해운과 용선주인 포스코가 합작으로 발주하여 2017년 말 인도 예정인 동해항과 광양제철소 간 석회석 수송 전용 50,000톤급 벌크선으로 현대미포조선에서 건조 중에 있다.

본 선박은 포스코가 독자적으로 개발한 고망간강<sup>15)</sup> LNG 연료탱크로부터 공급된 LNG 연료와 기존 화석연료인 병커 C유를 단독 또는 겸용하여 사용할 수 있는 엔진을 설치하여 세계 최대 LNG 연료추진 벌크선이 될 예정이다.

15) 고망간강은 기존 탱크에 사용되는 니켈, 알루미늄 등 합금소재보다 항복강도와 극저온인성이 우수함

포스코에서 개발한 고망간강이 적용된 LNG 연료탱크는 20% 망간이 첨가되어 영하 162도까지 이르는 극저온의 LNG를 보관할 수 있다. 포스코는 추가적으로 LNG 연료추진선 도입 시범사업을 통해 2017년 말 18만 톤 급 선박을 추가 발주할 예정이다.

현재 포스코와 계약을 맺은 전용선은 40척 가량이며, 그 중 한국-호주 간 운항되는 선박이 노후화되어 포스코가 생산하는 고망간강으로 제작된 연료탱크를 적재한 LNG 추진선으로 대체를 추진할 예정이다.

하지만 고망간강은 국제가스추진선박기준(IGC CODE)<sup>16)</sup>에 등재되어 있지 않아 국제 해상 운송이 불가능한 상황이며, 이를 해결하기 위해서는 호주 정부의 개별적인 승인을 받아야 하므로 해양수산부 및 산업통상자원부 등 관련 정부 부처는 호주 항만 입항 가능성 점검을 위한 상세 논의를 실시 중이다.

이번 프로젝트가 성공적으로 마무리 된다면 세계 최대 규모(20만 톤 급)의 LNG 추진선 도입과 국내 LNG 추진선 운영 체계 조기 구축 및 산업 육성 기반이 조성되고 민간 부문 LNG 추진선 도입 활성화도 기대된다.

한편 브라질 최대 채광기업 '발레(Vale)'는 선대 개편 차원에서 32만~36만 5000DWT(재화중량톤수)급 VLBC(Very Large Bulk Carrier)를 2019년부터 순차적 인도 예정으로, 최소 30척을 신조기로 하였다. 그 중 한국은 폴라리스쉬핑 10척, 팬오션 4척, 에이치라인·SK해운·대한해운이 각각 2척의 장기운송계약(COAs)을 맺었다. 하지만 본 선박들은 LNG 병커링 선 및 LNG 병커링 기지 등의 여건으로 인하여 병커C유를 사용하는 엔진을 넣지만 향후 LNG를 사용하는 엔진으로 변경 가능한 'LNG Ready' 디자인으로 건조될 예정이다.

### 2.2.3 LNG 추진선의 경제성

LNG추진선의 필요성 관련하여 선박배출가스규제에 대한 대안의 장단점 비교결과, LNG와 LSFO중의 선택문제로 귀결되는 것과 관련하여 한국해양수산개발원의 김근섭외는 각 대안별 비용의 비교분석을 위한 연구(2015)에서 아래의 Table 12와 같이 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대 크기인 14,000 TEU급 컨테이너선을 대상선박을 선정하여 저속(16.5Knots), 표준(19.5Knots), 고속(23.0Knots) 운행에 따른 연료소모 비용을 추정하였다.

16) International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk. 산적 형태의 액체 가스를 운송하는 선박의 구조와 장비에 관한 코드

선정된 항로는 극동아시아~미국서부해안으로, ECA와 비ECA 운항 비율을 2:8로 설정하였다. 그리고 연료유의 가격은 \$40/bbl~\$100/bbl로 구분하였고, 0.1% 저유황 프리미엄을 \$230/톤, 0.5% 저유황 프리미엄을 \$140/톤으로 설정하였다. 또한 LNG 가격은 기존 연료유 가격의 비율로 추정하였고 분석결과 연료유 대비 LNG의 가격 비율은 \$0.152 MMbtu/bbl로 산정되었다. 또한 투자회수기간 산정을 위하여 LNG 추진선박 건조에 투입되는 초기 투자비용은 2,500만 달러와 3,500만 달러로 가정하여 도출하였다.

Table 12 LNG-LSFO 연간 연료비 분석 기본 데이터

Vessel Type	14,000TEU		
Trade Route	FEAST-USWC		
LS 0.1% Premium/ton	\$230		
LS 0.5% Premium/ton	\$140		
Price(FO : LNG)	\$1 bbl = \$0.152MMbtu		
Speed(Knots)	16.5	19.5	23.0
FO 연간 소모량(발전기 포함)	26,200ton	42,000ton	60,715ton
LNG 연간 소모량(발전기 포함)	21,700ton	36,000ton	49,875ton

자료 : 한국해양수산개발원(KMI) 추정

분석결과 컨테이너선이 표준 속도로 운항할 경우 LNG는 저유황유(LSFO)에 비해 연간 450만~580만 달러의 연료비 절감효과가 나타났다. 초기 투자비용이 2,500만 달러인 경우 투자회수기간이 4.3~5.5년이며, 초기투자비용이 3,500만 달러인 경우 6.0~7.8년으로 나타났다.

동일한 방식으로 저속운항 및 고속운항시의 연료비용을 분석한 결과, 저속운항의 경우 투자회수 기간이 6.5~10.2년으로 나타났으며 고속운항의 경우 2.8~4.2년으로 나타났다.

이러한 경제적 효과는 LNG 연료추진선으로의 개조 또는 신조를 위한 기술개발이 발전됨에 따라 관련 비용들이 지속적으로 낮아져 투자비의 회수 기간이 더욱 단축되고 결론적으로 LNG의 경제성은 더욱 증가될 것으로 예상되고 있다.

## 2.3 LNG 추진선 중심 녹색해운 인프라

### 2.3.1 LNG 추진선 중심 녹색해운 인프라 정의

본 연구는 현재 전 세계적으로 관심이 집중되고 있는 LNG 추진선의 향후 수요를 충족하기 위한 인프라를 식별하고 그러한 인프라를 구축하기 위하여 어떠한 세부 요인들이 있는지를 살펴보았다.

한국해양수산개발원의 “LNG 추진선 도입에 따른 항만의 대응전략”에서 선박의 배출가스 경감을 위해 LNG 추진선이 최적의 대안이라고 하였고, 이를 위하여 LNG 병커링 시범 사업 추진, LNG 병커링 터미널 사업의 추진기반 마련을 위한 시설투자, 관련 법·제도 개선과 같은 운용시스템 구축 그리고 LNG 병커링 사업자 및 LNG 추진선을 도입하는 선주에 대한 세제혜택과 재정지원을 추진하는 인센티브 시스템을 언급하고 있다.

그러나 현재 LNG 운반선에 승선하고 있는 선원들은 절대적으로 부족한 상황이다. 심지어는 일본의 선사들이 한국에서 양성된 LNG선 선원들을 자국 선박에 승선케 하기 위하여 인력 유출이 일어나고 있는 상황이며, 현재 신조 중인 국적 LNG선 선원들을 확보하는 것조차 기존 해운선사에서는 용이치 상황이므로 LNG 추진선이 신조되어 나올 것을 감안하면 선제적으로 육·해상 전문 인력 확보, LNG 추진선 교육시스템 및 녹색해운 인증제도 등의 운용시스템 구축이 추가되어야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구의 LNG 추진선을 위한 녹색해운 인프라 구축의 주요 항목은 1) 시설투자 2) 운용시스템 구축 3) 인센티브 정책으로 정의하며 이를 바탕으로 한 국내외 LNG 추진선 인프라 구축 현황 및 계획 등을 확인하였다.

### 2.3.2 LNG 추진선 중심 녹색해운 국내외 인프라 현황

#### 2.3.2.1 시설투자 (LNG 추진선)

LNG 추진선 건조기술은 환경규제에 민감한 북유럽 국가 중 노르웨이를 중심으로 초기 개발되기 시작하였고, 2000년 노르웨이 국적의 Fjord1 해운선사가 차량/여객 수송선 (Glutra)을 LNG 연료추진으로 운행하면서 세계 최초의 LNG 연료추진선이 건조되었다.

2003년 2척의 해양작업지원선(PSV, Platform Service Vessel) 신조에 이어 2006년부터는 소형 차량/여객수송선, 예인선, 연안경비함 등 60여척의 LNG추진선 건조가 본격화되어 상업용 선박으로의 발전을 위한 견인차가 되었다.

미국은 셰일가스 증산으로 가스연료의 안정적인 공급이 가능해지면서 선박배출가스 규제에 대응하기 위한 방안으로 신조 선박 발주 시 LNG 및 LPG 추진선 등 친환경 선박 건조를 검토하기 시작하였고, 2012년 미국 TOTE사는 독일 MAN 엔진&터보사의 ME-GI 엔진과 한국의 대우조선해양에서 개발한 LNG 연료공급시스템(FGSS)<sup>17)</sup>이 최초로 탑재된 세계 최초의 LNG 연료추진 컨테이너선(Isla Bella 호, 3,100TEU)을 미국 샌디에고 나스코 조선소에 발주하여 2015년 4월부터 운영하기 시작하였다. (Fig. 13 참조)



자료 : Tote 홈페이지

Fig. 13 최초 LNG 추진 컨테이너선(Isla Bella호)

이후 주요 컨테이너 선사들은 LNG 추진선으로의 전환이 용이한 LNG Ready 선박을 발주하고 있으며, Maersk, CMA-CGM 등은 LNG 추진선에 LNG 병커링을 위하여 주요 에너지 공급업체와 잇달아 MOU를 체결하고 있다.<sup>18)</sup> 아울러 컨테이너선 외 자동차운반선, 크루즈선 등 다른 선종에서도 LNG 추진선이 건조되고 있으며 이러한 추세는 점차 가속화될 것으로 전망된다.

17) Dual Fuel Engine에서 가스연료를 공급하는 장치로서 300bar정도의 고압 가스연료를 필요로 하는 MAN 엔진 터보사의 ME-GI엔진용 공급시스템과 16bar의 비교적 낮은 압력의 가스연료를 사용하는 Wartsila의 XDF 엔진용 공급시스템으로 구별된다.

18) 한국해양수산개발원, 2017. 동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 병커링 터미널 구축 서둘러야, KMI 동향분석

### 2.3.2.2 시설투자(LNG 병커링선과 기지)

LNG 추진선의 병커링을 위해 세계 주요 항만들은 LNG 추진선을 위한 인프라 구축의 일환으로 LNG 병커링 선박을 본격 발주 중이다. 아래의 Table 13은 주요항만의 LNG 병커링 선박 도입현황을 나타내고 있다.

Table 13 주요항만 LNG 병커링선 도입현황

항만	내용	비고
로테르담항	Shell에 GATE 터미널 입차, Shell은 LNG 병커링선 발주	2014
지브리계항	세계 최초 LNG 병커링 선 인도(한진중공업 건조)	2017
싱가포르항	LNG 추진선 도입을 확대하기 위한 신조선박 6척까지 인센티브 지급 및 항만 내 LNG 추진선 입항료 5년간 면제	2013~

자료 : 한국해양수산개발원, 2017. 동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 병커링 터미널 구축 서둘러야, KMI 동향분석

전 세계 200여개 국가의 약 8,000개 항만들 중에서 46개 항만만이 LNG 병커링을 위한 인프라 구축을 계획하고 있으며, 현재 15개 항만에서 LNG 병커링 인프라가 가동되고 있다. 상기에 언급한 LNG 병커링 인프라의 구축이 추진 중인 항만 46개 중 유럽에 36개 항만이 북미와 남미에는 4개의 항만이 분포하는 것으로 나타났다.

하지만 아시아의 경우 대한민국, 중국, 싱가포르, 아랍에미리트에서 LNG 병커링 터미널의 구축을 추진하거나 관련 계획을 수립하고 있는 상태이다. 아래의 Fig. 14와 Table 14는 전 세계 LNG 병커링 기지 인프라 구축 현황과 향후 인프라 구축 추진 항만을 보여 주고 있다.



자료 : Slide from Lars Petter Blikom Presentation, DNV GL

Fig. 14 글로벌 LNG 병커링 인프라 현재와 미래

LNG 연료 추진 선박과 LNG 병커링 작업 시 작업 절차의 복잡성과 LNG의 누출 사고의 위험성으로 인한 잠재 위험도를 가지고 있으며, 특히 Ship-To-Ship LNG 병커링은 LNG 추진선박이 정박된 항구에서 병커링을 하게 되는데, 대부분의 항구 주변 수 킬로미터 이내에는 화물 적재장, 사무실, 컨테이너 등 사람이 거주하는 곳이 형성되어 있어 사고 시 인명, 환경, 재정적 피해를 입을 수 있다.

그러므로 항내에서 LNG 병커링 작업을 할 시에 다양한 시나리오 및 영향에 대한 정량적인 평가를 통하여 사고 지역에 대한 피해를 줄일 수 있는 평가기준에 맞는 LNG 병커링 지역을 선정해야 한다.



Table 14 전 세계 LNG 병커링 인프라 구축 추진 항만

유럽		아시아	아메리카
Aarhus(덴마크)	Kristiansund(노르웨이)	Busan(대한민국)	Buenos Aires(아르헨티나)
Amsterdam(네덜란드)	Le Havre(프랑스)	Fujairah(아랍에미레이트)	Port Fourchon(미국)
Antwerp(벨기에)	Lubeck(독일)	Incheon(대한민국)	Long Beach(미국)
Bergen(노르웨이)	Lysekil(스웨덴)	Nanjing(중국)	Los Angeles(미국)
Bodo(노르웨이)	Mongstad(노르웨이)	Singapore(싱가포르)	
Bremerhaven(독일)	Nynasham(스웨덴)	Zhousan(중국)	
Brunsbüttel(독일)	Oslo(노르웨이)		
Copenhagen(덴마크)	Oulu(핀란드)		
Ferrol(스페인)	Roscoff(프랑스)		
Floro(노르웨이)	Rotterdam(네덜란드)		
Fredrikstad(노르웨이)	Santander(스페인)		
Ghent(벨기에)	Stavanger(노르웨이)		
Gijon(스페인)	Stockholm(스웨덴)		
Gothenburg(스웨덴)	Tallinn(에스토니아)		
Hamburg(독일)	Turku(핀란드)		
Helsinki(핀란드)	Wilhelmshaven(독일)		
Hirtshals(덴마크)	Zeebrugge(벨기에)		
Karmoy(핀란드)	Zwijndrecht(네덜란드)		

자료 : Tri-Zen, 2015. “LNG Markets Perspectives”, p.3.

로테르담항은 셸(Shell)사가 LNG 병커링 선박을 발주하였으며, 2016년부터 본격적으로 선박에 LNG 병커링을 수행하고 있다. 싱가포르항은 2020년부터 선박에 LNG 병커링 서비스 제공을 목표로 2013년부터 관련 계획을 수립·진행했고, 2018년부터 시범사업을 추진할 예정으로 LNG 추진선 확대를 위해 6척의 신조선박에 대해 척당 200만 싱가포르달러를 지원하는 정책을 발표한 바가 있다. 또한 벨기에 지브리계항은 2014년 LNG 병커링을 위한 조인트벤처를 설립하고, 2017년 세계 최초의 LNG 병커링 선박인 ‘엔지 지브리계 (Engie Zeebrugge)’ 호를 인도하였다.

2015년 4월 BG를 인수함으로써 세계 최대 LNG 공급사로 자리매김한 셸은 유럽 북서쪽에서 발틱해로 이동하는 선박에 대한 LNG 병커링 서비스를 수행하기 위해 2016년부터 로테르담항의 Gate 터미널을 임대하여 대규모 LNG 병커링 전초기지를 구축하고 있으며, LNG 병커링 선박에 1억 유로를 투자하였고, 로테르담항 Gate 터미널에 LNG선박이 접안할 수 있는 신규터미널도 건설하였다. (Fig. 15 참조)

셸의 로테르담항 LNG 병커링 사업은 LNG 구매, 보관, 운송 및 병커링을 일괄적으로 수행하고 있다.<sup>19)</sup>



자료 : The Maritime Executive

Fig. 15 로테르담 Gate 터미널

2008년 확장된 지브리계항의 Fluxys LNG 터미널은 현재 연산능력 9bcm을 보유하고 있다.<sup>20)</sup> 현재 Fluxys 터미널은 저장탱크 4기 (총 380,000m<sup>3</sup>)와 2016년 가동을 시작한 저장탱크 1기를 포함하여 연간 LNG 생산량 16bcm 규모로 확정되어 있고, 선박 접안시설들도 2014년 추가로 건설되었다.<sup>21)</sup> (Fig. 16 참조)

NYK, 미쯔비시상사 및 Engie(GDF Suez)는 2016년부터 벨기에 지브리계항에서 LNG 병커링 사업을 수행하기 위해 Fluxys LNG 터미널과 임대계약을 체결하기 위한 합작회사인 Bunkering J/V와 Shipping J/V를 설립하였다. 본 병커링 사업은 NYK<sup>22)</sup>가 추진하며 이를 위하여 Bunkering J/V와 병커링 선박 용선계약을 체결하였고, Shipping J/V가 한진중공업에 5,000cbm 병커링 선박 2척을 수주하였다.

19) Shell, 2014. "Shell to build innovative bunker vessel to deliver LNG fuel"

20) Fluxys Terminal (<http://www.fluxys.com/belgium/en/About%20Fluxys/Infrastructure/LNGTerminal/>)

21) Fluxys Terminal, 2014. "Energy Chart Zeebrugge", p.44.

22) Mitsubishi Corporation, 2014. "Mitsubishi Corporation, GDF SUEZ and NYK Form Partnership in LNG Bunkering Business"



자료 : Cyprus Mail Online

Fig. 16 지브리게 Fluxys LNG 터미널

노르웨이는 2008년부터 소형 LNG Port인 티절브가든(Tjeldbergodden)항, 콜스네(Kollsnes)항 및 커모이(Karmøy)항을 통해 선박 등에 LNG를 공급하였는데, 티절브가든(Tjeldbergodden)항에서는 스테이트오일하이드로(StatoilHydro)가 트럭을 이용하여 연간 15톤의 LNG를 공급하였고, 콜스네(Kollsnes)항 및 커모이(Karmøy)항에서는 개스너(Gasnor)가 각각 연간 120톤, 20톤의 LNG를 공급하였다.

플로러(Floro), 씨씨비 오거네스(CCB Agotnes), 하오엠(Halhjem), 스러바든(Snurrevarden), 리사비카(Risavika)등 주요 5개 항만에는 이미 LNG 병커링 설비를 구축하였고<sup>23)</sup>, 2014년부터 14개 항만에서 선박용 LNG 병커링 인프라 구축을 진행 해 왔다. (Fig. 17 참조)

원거리에 위치한 선박에도 트럭으로 운송하여 병커링이 가능한 Ora항은 LNG 저장탱크 9기(전체 저장능력: 6,400m<sup>3</sup>)를 보유하고 있으며<sup>24)</sup> 노르웨이의 리사비카(Risavika)에 LNG 생산기지를 보유하고 있는 LNG 병커링 전문업체인 스칸가스(Skangas) LNG는 Ship-to-Ship, Truck-to-Ship, Terminal-to-Ship 등 다양한 방식으로 병커링을 수행하고 있다.

23) DNV-GL, 2014. "Global LNG bunkering infrastructure-A status update as of January 2014" , p.3.

24) SkanGass (<http://www.skangas.com/en/our-portfolio/terminal-capacity/or-a-terminal/>)



자료 : DNV-GL, 2014. “Global LNG bunkering infrastructure-A status update as of January 2014” , p.5.

Fig. 17 노르웨이 LNG 병커링 항만

스웨덴의 AGA사는 2011년 세계 최초로 스톡홀름과 핀란드 Turku항 간을 운항하는 크루즈선 바이킹 그레이스(Viking Grace)호를 대상으로 스톡홀름에서 LNG 병커링 사업을 개시하였고, 2013년 2월에는 자체적으로 개발한 세계 최초의 LNG 병커링선 씨개스(Seagas)호에 의한 Ship-to-Ship LNG 병커링에도 성공했다. 이후 Viking Line이 운영하는 크루즈선 바이킹 그레이스(Viking Grace)호에 매일 50~70톤의 LNG를 공급하고 있다.<sup>25)</sup>

20,000m<sup>3</sup> 저장능력을 보유한 스웨덴의 니나샴(Nynashamn)항 LNG 터미널<sup>26)</sup>은 Pipeline-to-Ship, Truck-to-Ship 방식으로 LNG를 공급하고 있으며, 예테보리항은 2015년부터 1단계 LNG 병커링 운영을 시작하였고 2017년에는 저장 용량을 30,000m<sup>3</sup>으로 확장할 계획이다. (Fig. 18 참조)

25) AGA, 2013. “SeaGas Stockholm” , p.26.

26) LNG in Baltic Sea Ports, 2014. “LNG in Baltic Sea Ports-LNG Handbook” , pp.42-43.



자료 : The Port of Gothenburg

Fig. 18 예테보리항

핀란드의 투루쿠(Turku)항만은 2013년 판시(Pansi) LNG 터미널의 세부계획에 대하여 환경도시국 이사회에서 승인을 받은 후 LNG 안전관리 매뉴얼의 작성 및 회람을 거쳐 가숨(Gasum)사가 동 터미널을 2015년 가동하였다.<sup>27)</sup> (Fig. 19 참조)



자료 : World Maritime News (2014.11.19.)

Fig. 19 핀란드 LNG 터미널

덴마크는 1단계로 SECA의 운항선박 및 선종, 항로분석을 통해 수요를 예측하고, 2단계로 해상에서 필요한 LNG 수요량뿐만이 아니라 육상에서의 LNG 수요량도 포함한 후 마지막으로 터미널 입지 선정 및 설계를 검토하여 투자비 및 운영비를 산출하고 시장을 분석하는 3단계의 LNG 병커링 터미널 입지 선정 과정을 거쳐 코펜하겐 말뱌(Malmo)항에 LNG 병커링 터미널 입지를 선정하였다.<sup>28)</sup> (Fig. 20 참조)

27) Steering Group, 2014. "LNG in Baltic Sea Ports", LNG Stakeholders Seminar, p.10.



자료 : LNG in Baltic Sea Ports, 2014. “LNG in Baltic Sea Ports-LNG Handbook” , p.44.

Fig. 20 코펜하겐 말뚝항의 LNG 터미널 입지선정 후보

독일은 함부르크 항만청과 린데그룹(Linde AG)이 함부르크 항만의 LNG 병커링 타당성에 대하여 검토한 후, 함부르크항만과 린데-보민(Linde-Bomin) 합작으로 2015년 LNG 병커링을 개시하였다.<sup>29)</sup> 브룬츠부텔(Brunsbüttel) 항만청은 개스너(Gasnor)와 함께 LNG 병커링 인프라를 구축하였으며, DNV-GL의 기술지원으로 LNG 탱크 설치 및 Pipeline-to-Ship 방식의 병커링 시설을 구축하였다. (Fig. 21 참조)



자료 : Google Earth

Fig. 21 함부르크항만 LNG 터미널

28) LNG in Baltic Sea Ports, 2014. “LNG in Baltic Sea Ports-LNG Handbook” , p.44.

29) Thomas Tork, 2013. “A LNG Terminal for Hamburg-Modular approach, tailored to suit market needs” , Bomin Linde LNG, pp.16-19.

EU 정부는 라인-뫼즈-메인-다뉴브(Rhine-Meuse-Main-Danube)수로의 LNG 인프라 구축 마스터 플랜 수립에 4,000만 유로, 발틱해에서 고속으로 운항하는 선박을 지원하는 LNG bunker링 인프라 구축 및 시범사업에 2,300유로, 스페인 지중해 연안의 LNG bunker링 Value Chain 연구에 100만 유로, LNG 추진선과 LNG bunker링 관련 투자비를 각각 10% 씩 TEN-T (Trans- European Transport Network) 펀딩으로 지원하였다.<sup>30)</sup> 이에 따라 EU는 벨기에 Floxys LNG 터미널과 네덜란드 Gate 터미널에 각각 500만 유로와 1,000만 유로를 지원하였다.

그리고 프랑스, 폴란드, 에스토니아, 리투아니아 등에서도 LNG bunker링 사업을 개시하거나 또는 타당성 조사를 통해 인프라 구축 계획을 추진하고 있다.<sup>31)</sup> 지중해 연안국들도 강화된 환경규제에 대응하고 항만 경쟁력 제고 및 구매협상력을 강화하기 위하여 LNG bunker링 인프라 연대를 구축하고 있다.

싱가포르<sup>32)</sup>는 세계 제1의 bunker링 항만으로 2014년 기준, 42백만 톤의 bunker 사용량을 기록<sup>33)</sup>하고 있다. 이러한 지정학적 조건하에서 SLNG(Singapore LNG Corporation)는 2018년부터 LNG bunker링을 개시하기 위하여 연산 300만 톤급 저장탱크 (260,000m<sup>3</sup>) 1기의 건설과 LNG 터미널 확장을 하고 있다. (Fig. 22, 23 참조)

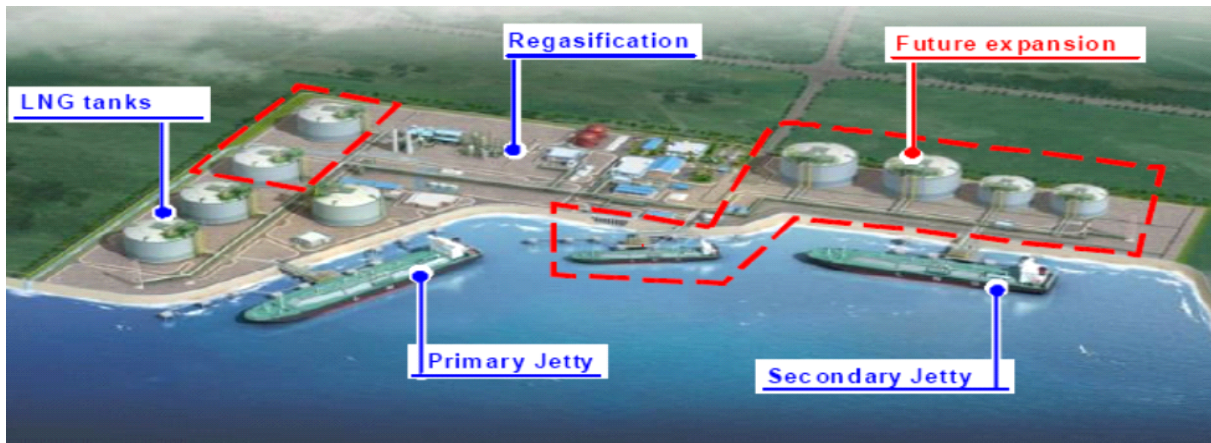
최근 싱가포르는 SLNG의 입지가 LNG bunker링을 수행하기에 부적합하다는 판단으로 투아스에 건설 중인 컨테이너 터미널 인근에 LNG bunker링 기지의 신설을 검토 중이다. 또한 LNG bunker링 기준 단일화를 위해 2013년에 벨기에 항만청과 양해각서를 체결하였고, 2014년 로이드선급에 의한 LNG bunker링 기술 표준/절차 용역을 완료하였다.

30) NGVA europe, 2012. "European Commission Selects 7 LNG Projects as Winners in TEN-T Call 2012",

31) 프랑스는 자국의 Dunkerque LNG, Air Liquide와 벨기에 Exmar사와 합작으로 2016년 Dunkirk 항만청에서 LNG bunker링을 가동할 예정이며, 폴란드는 2014년 Polskie사가 Swinoujscie항에 LNG bunker링을 개시하였고 리투아니아는 2014년 LNG bunker링 겸용으로 FSRU "Independence"를 가동하였으며, 에스토니아의 Tallinn 항만에서는 VOPAK사가 LNG bunker링 사업의 타당성을 검토하고 있음

32) SLNG(<http://www.slng.com.sg/>)

33) 싱가포르항만공사, Bunker Sales Volume in Port([http://www.mpa.gov.sg/sites/port\\_and\\_shipping/port/bunkering/bunkering.page](http://www.mpa.gov.sg/sites/port_and_shipping/port/bunkering/bunkering.page))



자료 : 2Blst Consulting, <https://www.2blstconsulting.com/two-singapore-lng-terminals-in-view-to-become-asia-lng-hub/>

Fig. 22 싱가포르 SLNG 터미널

또한 싱가포르 항만청(MPA)은 아시아의 LNG 병커링 허브가 되기 위한 일환으로 LNG 추진선 건조 기업에 적당 최대 1.4백만 달러를 지원하기 위하여 8.2백만 달러의 펀드를 조성하였다.<sup>34)</sup> 이는 2017년 초로 계획된 LNG 병커링 시범 사업을 추진하기 위한 방안으로, 본 지원을 받기 위해서는 싱가포르 등록 법인으로 해당 LNG 추진선이 싱가포르 국적이어야 한다.

MPA는 LNG 병커링 물량 유치와 원활한 LNG 공급을 위해 애그리게이터(Aggregator) 모델을 도입하여 대형선사와 협상을 진행하였다.<sup>35)</sup> 할당된 LNG 물량을 해운업계 및 산업체에 판매할 수 있는 최초의 Aggregator로 BG가 선정되었으며, 경쟁력 제고를 위해 파빌리온 에너지(Pavilion Energy)등이 복수 지정 후보로 거론되고 있다.

34) 싱가포르항만공사, 2015. "Singapore advances LNG bunkering efforts to meet future demand-Port of Singapore offers S\$12 million funding for building of LNG-fuelled vessels"(http://www.mpa.gov.sg/sites/global\_navigation/news\_center/mpa\_news/mpa\_news\_detail.page?filename=nr150930.xml)

35) Anthony Barker, 2013. "Singapore-Emergence of a new LNG market and the role of the aggregator", The 17th International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas(LNG 17)





자료 : JobStreet.com

Fig. 23 싱가포르 SLNG 터미널

중국은 2010년에 120만 명이 대기오염으로 인해 조기 사망한 것으로 추정<sup>36)</sup>될 정도로 대기오염 문제가 심각하다. 또한 세계 10대 컨테이너항만 중 6개의 항만을 보유하고 있어 컨테이너 선박으로 인한 항만 대기 오염의 심각성과 양자강을 중심으로 한 내륙 수로 및 연안 선박으로 인한 대기 오염의 심각성을 인지하고 있다.

중국은 선령 7년 이하인 30,000척과 8~15년인 17,000척의 내륙수로 운항선박에 대하여 혼합연료를 적용한 가스연료 추진선 개조 가능성을 분석하였는데, 2020년까지 양자강에서 운항될 신조 선박을 최대 14,000척으로 추정하고 있으며, 대략 10,000척은 LNG 추진선일 것으로 추정하고 있다.<sup>37)</sup>

중국은 정부 주도로 양자강의 LNG 인프라 구축을 위해 LNG 기지 55개, Station 800개의 건설 계획을 수립하고<sup>38)</sup> 소형 LNG 추진선 25척을 건조하였으며, LNG 추진 선박은 조세 감면의 혜택과 함께 2014년 4월, “내륙 선박 시범화에 대한 보조자금 관리방법”을 발표하여 LNG 추진 시범 선박에 63~140만 위안의 보조금을 차등하여 지원하였다.<sup>39)</sup> (Fig. 24 참조)

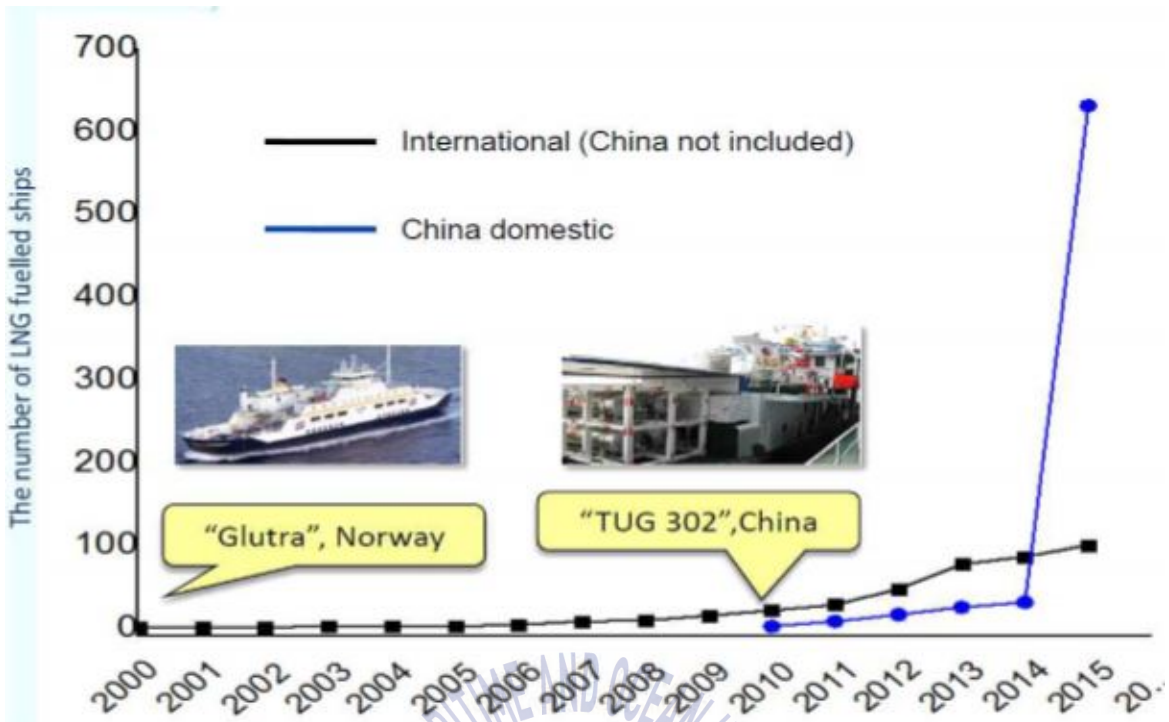
중국 최초의 LNG 병커링 기지인 남경터미널은 80m 부유식 부두 2선석과 저장용량 80,000 m<sup>3</sup>인 탱크로 구성되어 있으며, 수상 병커링 기지 9개를 장강지역 내에 추가적으로 건설을 추진하고 있다.<sup>40)</sup>

36) NRDC, 2014. Prevention and Control of Shipping and Port Air Emissions in China

37) Ship&Bunker, 2014. “New LNG Bunkering Station on Yangtze”

38) DNV, 2011. “Commercial and Strategic Opportunities for LNG in China”

39) 지용보, 2015. “중국 LNG 동력선박 발전 방향”, KMI 중국리포트, p.2-5.



자료 : CNOOC, 2014. “LNG as Marine Fuel & Bunkering in China”, APEC, Greener Voyage Fuelled by LNG, p.6.

Fig. 24 중국의 LNG 추진선 현황

쿤룬 에너지(Kunlun Energy)는 산둥성 정부와 차량용 LNG 충전소 및 선박용 LNG 병커링 시설 확충을 위해 전략적 협력을 추진하고, 하이취(Haiqi), 광후아(Ganghua), 난징(Nanjing)에 Offshore LNG 병커링 설비를 건설하고 있다.<sup>41)</sup>

또한 중국은 2018년 상하이항, 저우산항에서 LNG 병커링 사업을 추진하고 있으며 상하이항에는 10억 달러를 투입하여 LNG 저장탱크(160,000m<sup>3</sup>) 2기와 부두 2선석을 개발할 예정이다.<sup>42)</sup>

저우산항은 민간사업자인 ENN Energy Holdings가 연간 3백만 톤 설비를 2016년 3월 완공하여 대형 외항선을 대상으로 LNG 병커링을 추진할 계획이다.<sup>43)</sup> (Fig. 25 참고)

40) ENN 홈페이지 (<http://enneu.com/chinas-first-standardized-inland-water>)

41) DNV-GL, 2014. “Global LNG bunkering infrastructure-A status update as of January 2014”

42) Bunker Index, 2015. “Chinese firms create LNG bunkering JV-LNG bunkering stations to be built in Yangshan and Waigaoqiao”( [http://www.bunkerindex.com/news/article.php?article\\_id=15434](http://www.bunkerindex.com/news/article.php?article_id=15434))

43) LNG World News, 2013. “China Approves LNG Bunkering Project in Zhoushan” (<http://www.lngworldnews.com/china-approves-lng-bunkering-project-in-zhoushan/>)



자료 : ENN 홈페이지, 2015. <http://enneu.com/bunkering/>

Fig. 25 저우산항 LNG 병커링기지 조감도

일본에는 2015년 기준 총 33개의 LNG 터미널이 있으며, 연간 LNG 생산능력은 2억 톤이다. 또한 5개의 LNG 터미널 건설이 추가 계획 중이며 향후 LNG 병커링은 기존 33개의 LNG 터미널을 활용하여 수행할 예정이다. 일본의 항만에는 소형 LNG 운반선의 운항이 빈번하여 주로 소형 선박을 대상으로 하는 선박용 LNG 병커링을 수행하기 위한 인프라가 자연스럽게 구축되어 있다.

동경가스의 LNG 터미널(니게시(Negishi)터미널, 오기시마(Ohgishima) 터미널)이 요코하마 항만 인근에 위치하고 있으며, 저장탱크 17기가 있는 니게시(Negishi) LNG 터미널은 1.25백만 $m^3$ 의 LNG 저장능력을 보유하고 있다.

또한 20만 $m^3$  저장탱크 3기를 보유하고 있는 오기시마(Ohgishima) LNG 터미널은 연산 능력 1.45백만 톤이며 고베항 인근에는 오사카가스가 운영하는 히메지(Himeji) LNG 터미널(저장탱크 8기, 저장 능력 74만 $m^3$ 68))이 위치하고 있어 LNG 병커링에 유연하게 대응할 수 있다.

북미는 2012년 8월 1일부터 배출제한 구역(ECA)으로 지정함으로써 LNG 추진선에 대한 투자가 활발하게 진행되었다. 관련하여 TOTE(Totem Ocean Trailer Express)는 피보탈(Pivotal) LNG와 계약하여 잭슨빌(Jacksonville)항에서 병커링할 신조 선박 2척을 발주하여 운항중이다.<sup>44)</sup>

44) HHP Insight, 2015. "Tote's Commitment Is Environmental"(<http://hhpinsight.com/marine/2015/10/totes-lng-commitment-is-environmental/>)

마촌(Matson)사는 2018년 3~4분기에 인도받을 예정으로<sup>45)</sup> 미국 본토에서 하와이 항로에 투입하기 위한 LNG 연료 추진이 가능한 3,600TEU급(Aloha-Class) Dual Fuel 컨테이너선 2척을 필라델피아 조선소에 발주하였다.

하비 걸프(Harvey Gulf)사는 LNG 추진 선대를 건조하기 위해 350만 달러를 투자하였으며, 자사 선대(OSV: Offshore Support Vessel)의 LNG 병커링을 위해 포천(Fourchon)항 2곳에 각 9만 갤런 C-type 저장탱크 3기를 건설하고 있으며, 분당 500갤런의 LNG를 전송할 수 있는 육상 병커링 설비 건설을 추진하고 있다.<sup>46)</sup>

워싱턴 스테이트 페리스(Washington State Ferries)사는 2012년 페리선에 대한 LNG 연료 사용 가능성<sup>47)</sup>과 LNG 추진선의 안전성 및 위험도를 평가<sup>48)</sup>한 후, 자사선 6척을 LNG 추진선으로 개조 추진을 하고 있으며,<sup>49)</sup> 투자비 회수 기간으로 7년을 산정하고 있다.<sup>50)</sup>

이글 엘엔지(Eagle LNG)는 잭슨빌(Jacksonville)에 LNG 액화기지 건설을 클린 에너지(Clean Energy), GE 벤처(GE Ventures), GE 에너지(GE Energy), 페로스 천연가스(Ferus Natural Gas)와 함께 추진하고 있으며, 병커링은 트럭, 병커링 선박으로 계획하고 있다.<sup>51)</sup>

푸젯 사운드 에너지(Puget Sound Energy)사는 2018년 완공 및 운영을 목표로 타코마항에 LNG 연간 생산능력 20만 톤, 저장 용량 30,000m<sup>3</sup>의 LNG 병커링 인프라 구축을 위하여 275백만 달러를 투자하여 진행<sup>52)</sup>하고 있으며, 주요 고객은 알래스카로 운항하는 선박을 보유하고 있는 TOTE사를 비롯한 지역 사업자를 대상으로 하며, TOTE사와는 연료 공급 계약을 이미 체결하였다.<sup>53)</sup> (Fig. 26 참조)

45) Matson release, 2015. "Matson Begins Production on New 'Aloha Class' Ships for Hawaii" (<http://investor.matson.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=934776>)

46) Harvey Gulf (<http://www.harveygulf.com/green.html>)

47) Mary Fleckenstein & Kathy Scanlan, 2012. "Evaluating the Use of Liquefied Natural Gas in Washington State Ferries-Final Report", Joint Transportation Committee & Cedar River Group

48) Det Norske Veritas, 2013. "Safety and Navigational Risk Assessment for LNG-Fueled Passenger Ferry Vessels", Washington State Ferries

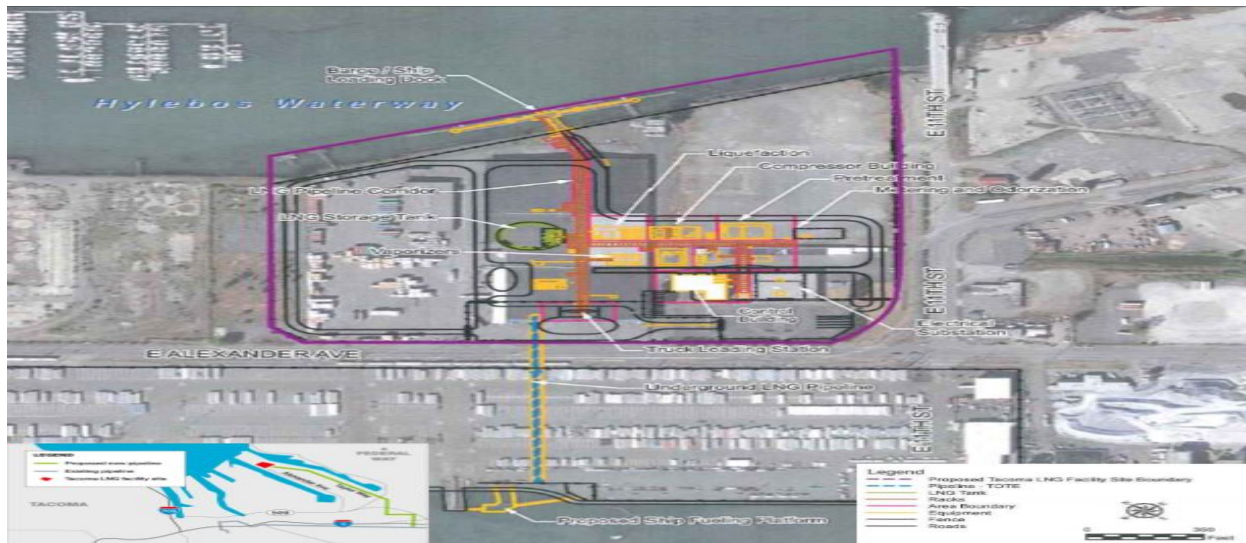
49) Darnell Baldimelli, 2014. "Washington State Ferries' LNG Project", Washington State Department of Transportation

50) gCaptain, 2015. "Washington State Ferries and DNV Explore LNG as a Fuel" (<http://gcaptain.com/washington-state-ferries-explore/>)

51) Eagle LNG (<http://www.eaglelng.com/jacksonville-project/>)

52) Tacoma LNG (<http://www.tacomacleanlng.com/>)

53) Puget Sound Energy, 2014. "PSE, Totem Ocean Sign Fuel Supply Agreement PSE to



자료 : Puget Sound Energy (<http://pse.com/inyourcommunity/pse-projects/system-improvements/Pages/Tacoma-LNG-project.aspx>)

Fig. 26 타코마항 LNG 병커링 인프라 개발 개념도

### 2.3.2.2 운용시스템 구축

친환경선박 유지 및 운항 안정성 확보를 위하여 녹색해운 전문인력 양성이 필요하다. 녹색해운 교육 대상자는 크게 선사, 항만, LNG 병커링 종사자 등이 있으며 필요한 직무별 교육 내용은 아래의 Table 15와 같다.

Table 15 녹색해운 교육 대상자 및 직무 교육 내용

교육 대상자	직무별 교육 내용
선사	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 선원 : 친환경선박 승선자들을 대상으로 한 필수교육 및 안전교육 등, 녹색해운담당자 : 해사부문 기후변화 대응 전문교육, 녹색해운 관련 거래 및 인증 실무 교육, 녹색경영 교육 등</li> </ul>
항만	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기후변화 대응 전문교육, 녹색해운 관련 거래 및 인증 실무 교육, 녹색경영 교육 등</li> </ul>
LNG 병커링 종사자	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ LNG 취급 인력 : 위험물 처리 교육, LNG 추진선 필수교육 및 안전교육 등, 녹색해운 직무 담당 인력 : 녹색해운 관련 거래 및 인증 실무 교육, 녹색경영 교육 등</li> </ul>

Provide LNG to Totem Ocean's Vessels”

국적 외항 선사들은 친환경 선박(저유황유 사용, Scrubber 장착, LNG 추진선 신조)도 입 시 선박운항인력은 자체 직무교육 프로그램을 실시할 것으로 예상된다. 하지만 국내 내항 선사들은 친환경 선박도입 시 선원인력 고령화 및 외국인 선원 다수 유입으로 인하여 신기술이 탑재된 친환경 선박 운용 경험 및 자질 부족과 외국인 선원들에 대한 법정교육 이수 요구 근거에 대한 문제점 대두가 예상되고 있고, 내항선원 처우 및 근로환경 열위로 인한 우수인력 확보난이 예상됨에 따라 이들을 위한 체계적인 교육 및 양성 정책 마련이 시급한 실정이다.

따라서 내항 선사들이 친환경 선박 도입 시 ① 친환경선박 운항인력의 확보 및 필수 직무교육 실시, ② 친환경선박 신조 시 관리 감독할 인력 확보 및 양성, ③ 친환경선박 인수 후 유지 관리할 육상 지원인력 확보 및 양성과 같은 사항들의 고려가 필요하다.

아래 Table 16은 녹색해운 전문 인력 양성방안 총괄표로서, 국내에서는 한국선급이 2010년 녹색성장위원회에서 녹색해운교육기관으로 지정되었고, ‘신재생에너지 및 기후변화 전문 인력 양성 교육프로그램’을 에너지환경사업단 주도로 실시 중에 있으며, 한국해양수산연수원에서는 LNG 탱커(운반선) 선원들의 직급별 교육을 실시하고 있으나 친환경 선박(LNG 추진선 포함) 및 벙커링 선박 관련 규정이 부재한 상태이다.

Table 16 녹색해운 전문 인력 양성 방안 총괄표

구분	세부내용
녹색해운 전문 인력 양성 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 친환경선박 유지 및 운항 안정성 확보를 위하여 전문인력 양성이 필요</li> </ul>
녹색해운 전문 인력 양성 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국내 녹색해운 관련 교육기관은 한국해양대학교, 해양수산연수원, 한국선급으로, 향후 각 기관별 특화된 인력양성/직무 프로그램 과정을 운용할 필요가 있음</li> </ul>
녹색해운 전문 인력 양성 추진계획 및 세부내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 교육대상자(선사, 선박, 항만, 육상근무자 등으로 세분화)</li> <li>■ 교육대상자에 적합한 교육프로그램 및 교육기관 지정 운영</li> </ul>

네덜란드의 로테르담에 1994년에 설립된 The Green Award Foundation은 2000년부터 친환경 해운(선사, 기관 포함)에게 인증을 해주는 독립기관으로, 현재 17개국의 40여개 선사 및 해운관련 기관들이 인증을 받았고, 인증을 받은 선사에게는 항세, 용선료, 해상보험 등 감면 혜택을 주고 있다.

### 2.3.2.3 인센티브 정책

국제해사기구(IMO) 및 주요 선진국이 선박 대기오염물질에 대한 규제를 강화함에 따라 녹색해운의 중요성이 날로 증가하고 있다. 이로 인해 해외 선진국에서는 LNG 추진선을 포함한 친환경 선박의 항비 감면, Scrubber 설치비용 지원, 폐선보조금 지원, 등록세 감면, 톤세 환불 등 다양한 세제 및 인센티브를 적극적으로 지원하고 있다.

국내 해운분야는 선박의 노후화에 따른 대규모 잠재적 교체수요가 있는 것으로 파악되지만 높은 선가와 관련 서비스 인프라 부족 등으로 친환경선박은 2017년 현재 1척(인천항만공사 '에코누리호')에 불과하다.

따라서 국내 녹색해운 기반 구축 및 LNG 추진선 등 친환경 선박 활성화를 위한 금융, 세제, 인센티브, 항비 지원 방안 등 다각적이고 현실적인 지원방안 마련이 필요한 상황이다. 특히, 친환경 선박을 위한 세제지원 및 인센티브 제공은 선박 건조, 기자재, 선박 운항 서비스(빙커링 등) 등 친환경 선박 연관 산업들의 시너지 효과도 창출할 수 있다.

#### 1) 친환경 선박 신조/폐선 보조금 지원

국내 외항 선사들은 2020년 IMO의 황산화물 규제에 대비하여 자체적으로 친환경선박으로 전환할 것으로 예상하고 있지만, 최근 정부는 국내 조선시장 활성화 등을 위하여 고 선령의 현존선을 폐선하고 친환경선박을 신조 할 경우 GT당 10만원의 폐선보조금을 지급하는 방안을 고려중이다.

또한 국내 조선기자재업체의 기술 개발 촉진(스크러버 등 친환경 선박 장비 국산화 등)을 도모하기 위하여 친환경 선박의 신조 뿐 아니라 현존선에 대한 스크러버 등의 친환경 선박을 위한 장비 설치비용 지원을 위하여 인센티브 제공하는 방안도 검토 중에 있다.

중국의 경우 중국 연해와 국제원양에 종사하는 1,000GT 이상의 노후선박과 단일선체 탱커를 대상으로 약 1조 6천 억 원 규모의 폐선 보조금을 지원했다.<sup>54)</sup> 한국해양수산개발원(2017)에 따르면 중국의 폐선보조금은 '보조금 단가(GT당 약 25만 원)×선박의 총 톤수×선령계수×선박형태계수'의 공식으로 산정<sup>55)</sup>하여 폐선보조금을 GT당 13만 원으로

54) 중국은 선박의 유형, 폐기 연령 등을 고려하여 ICGT(선박의 GT에 선박의 부가가치, 작업 난이도 등을 고려한 계수를 곱해 산출한 무게 단위)당 약 25만 원의 보조금을 지원하여 120척에 달하는 총 1,433만DWT의 신조발주를 유도함(2013~2016년 약 10억 달러의 폐선보조금 지급)

55) '선령계수'는 건조년도와 선박해체연도를 고려한 소유권 말소기간에 따라 산정되며, '선박형태계수'는 선종에 따라 부여하는 가중치로써 여객선, 가스운반선, 화학품선, 유조선, 예인선은 1.5, 컨테이너선, 냉동선, 다용도선, 로로선은 1.2, 벌크선, 일반선박,

산출하였다.

## 2) 친환경 선박 비용감면 제도(세제 및 항비 지원)

내항선박의 친환경선박 세제지원을 위하여 현재 지방세특례제한법 제64조(해운항만 등 지원을 위한 과세특례) 3항에 ‘연안항로에 취항하기 위해 대통령령으로 정하는 화물운송용 선박 중 천연가스를 연료로 사용하는 선박을 취득하는 경우에는 2019년 말까지 한시적으로 지방세법 제12조 제1항 제1호의 세율에서 취득세의 20/1000’ 을 경감하고 있다.

상기의 규정에 따른 세제지원 대상선박은 ‘내항화물운송사업에 사용되는 내항화물운항명세서상에 포함된 선박 중 천연가스를 연료로 사용하는 선박’ 과 ‘선박을 용·대선하여 내항화물운송용으로 사용할 목적으로 선박대여업에 사용되는 선박 중 천연가스를 연료로 사용하는 선박’ 으로 한정되어 있지만 항만예인선을 포함한 모든 연안선박으로 확대 지원하는 정책의 추진이 필요한 것으로 사료된다.<sup>56)</sup>

부산항은 아래 Table 17과 같이 아시아 최초로 2014년 1월부터 부산항에 입항하는 친환경 선박중 환경선박지수(ESI)가 31점 이상인 선박에 대해 선박 입·출항료의 15%를 감면하고 있으며, 2016년 기준 부산항 친환경 선박 입항 척수는 1,977척으로 약 23억 원을 감면 지원했다.

Table 17 '14~'17년 부산항 ESI 감면실적 현황

단위 : (척, 원)

연도	업체수	척수	ESI 할인금액 현황
2014	24	523	759,545,466
2015	24	1,232	1,558,876,520
2016	46	1,977	2,385,214,958
2017	37	597	668,472,520
총합계	131	4,329	5,372,109,464

자료 : 부산항만공사 내부자료

기타 화물선은 1.0,바지선은 0.6으로 산정함. 위험물운반선 등에 대해서는 가중치를 높여 더 많은 규모의 보조금을 지급함으로써 폐선을 유도하고자 한 것으로 판단됨

56) 이를 위하여 현 지방세특례제한법 제64조(해운항만 등 지원을 위한 과세특례) 제3항을 ‘연안항로에 취항하기 위하여 대통령령으로 정하는 화물운송용 선박, 여객운송용 선박 및 예인선을 포함한 모든 연안선박 중 천연가스를 연료로 사용하는 선박’으로 개정 작업이 필요함



울산항도 2016년 1월 1일부터 울산항에 입항하는 친환경 선박에 대하여 항만시설 사용료를 감면하는 환경선박지수(ESI) 사용료 감면 제도를 도입하여 ESI 31점 이상 선박에 대하여 선박 입·출항료를 10% 감면하였다.

2016년 기준 울산항 총 입항 외항선은 총 11,970척이며, 그 중 131척이 감면 대상으로 입·출항료 181억 원 중 약 8,900만원을 감면 받았다. 이러한 환경선박지수 사용료 감면 제도의 기대효과로 온실가스 감축량 분석이 가능하며, 대형 ESI선박 입항 확대를 통한 부두생산성이 향상되었다.

### 3) 친환경 선박 금융지원

한국 정부는 2016년 11월 30일 '제6차 산업경쟁력 강화 관계장관 회의'를 열고 총 11조2000억 원을 지원해 2020년까지 250척 이상의 선박발주를 추진할 계획이라고 밝혔다.

이를 위하여 3조7000억 원의 선박펀드를 조성해 2020년까지 75척 이상의 선박발주를 지원한다는 방침이다. 정부는 대형선박의 경우 선박 신조지원 프로그램 규모를 1조3000억 원에서 2조6000억 원으로 확대하고 대상 선종도 현재 컨테이너선에서 벌크, 탱커까지 늘릴 예정이다.

또한 카페리, 쾌속선 등 노후 여객선 교체를 위한 여객선 현대화 펀드를 100억 원에서 2019년까지 1,000억 원으로 확대한다. 특히 1조원 규모의 에코쉽 펀드를 활성화해 70여척 신조도 지원할 방침이다.

에코쉽 펀드는 2014년 수은이 출자해 조성, 친환경 선박 건조 시 선박 가격의 일부를 금융지원하고 있다. 정부는 에코쉽 펀드의 경우 펀드 운용사의 기관 투자자 유치 확대, 해양보증보험 확대, 해운사 대상 홍보 등을 통해 운용을 활성화한다는 방침이다.

중소형 선박에 대한 금융지원도 강화된다. 정부는 2020년까지 115척 이상 신조 발주를 목표로 연안 화물선, 여객선 신조 시 대출 상환기간을 대폭 연장(10년→15년)하고 담보 인정비율도 60%에서 70%로 상향 조정키로 했다. 또한 신조선 건조자금에 대한 대출 이자 중 2.5%에 해당하는 금액을 정부가 지원(건조금액의 80% 이내)한다.

정부는 이차보전사업 지원 예산을 올해 61억 원에서 내년 76억 원으로 확대해 2020년까지 연안여객선 38척, 연안화물선 77척을 교체할 계획이다. 또한 노후어선 중 원양어선 대체 건조 시 지원 대상을 수산물운반선 등으로 확대하고 대출 상환기간도 연장(7년→10년)해 대체 건조를 확대키로 했다.

여기에 공공선박에 대해 7조5000억 원을 투입해 공공선박 63척 이상을 조기 발주키로 했다. 호위함, 고속상륙정 등 군함 신조에 6조6700억 원, 경비정은 대형함정 증강 및 노후함정 대체물량 23척(4362억 원), 관공선인 어업지도선, 공원순찰선, 감시정 등 관공선 40척(3800억 원)을 발주할 예정이다. 이러한 국내 해운지원을 위한 선박금융지원책은 한국해양진흥공사가 설립되면 보다 적극적으로 활기를 얻을 것으로 생각된다.

미국은 선박건조, 개조 및 수리 시 자금 운용측면에서 원금 및 이자 상환에 대해 정부가 보증함으로써 선사의 비용부담을 완화하는 용자보증제도 (Loan Agreement)를 운영하고 있다. 보증한도는 용자조건과 대상선박에 따라 총 용자금의 76~87.5%로 보증기간은 신조선의 경우 선박인도 후 26년 이내이고 개조·수리 선박은 인도 후 25년 혹은 선박의 내구연수 중 먼저 도래하는 기간으로 잡고 있다.

중국의 경우 2012년에 국가개발은행 선박대출센터를 설립하여 중국내 해운 및 조선업체 자금조달을 지원하고 있다. 2009년에는 건조 중 선박담보권 등기입시규정을 제정하여 건조 중 선박에 대한 금융지원 및 용자를 허용하였고, 상하이 해운산업펀드 및 선박 Resale 관련 금융지원, 선박금융리스회사를 통한 금융지원 정책을 운영 중이다.

싱가폴은 선박리스업체, 선박펀드와 트러스트 육성을 위해 선박 확보 시 10년간 조세 혜택을 주는 해양금융 인센티브제도를 도입운영중이며, MFI 제도 하에서 지원하며 선박 금융 활성화가 목적인 PST 펀드와 2002년에는 약 8,000억 싱가포르달러 규모의 해사 클러스트 펀드를 도입하여 해사지식 중심지 구축을 목표로 해운산업과 R&D 부분의 산업을 육성하고 해운, 법률, 선박금융, 교육, 보험, 중개 산업 및 해양기술을 육성하고 있다.

일본은 해운 및 조선업 불황 극복을 위한 정책으로 선박투자촉진 회사를 설립하여 자국내 조선소를 통한 선박건조 촉진을 위해 자금지원을 하고 또한 특수목적회사 (SPC)를 설립하여 SPC가 선주으로써 국책은행 등의 용자를 받아 조선소에 발주의뢰를 하고 있다.

다음으로 유럽연합 내 주요 국가들의 해운 금융지원 정책을 살펴보면 우선 독일의 경우 대출보증 및 KfW특별프로그램을 2009년에 도입하여 자국 해운사 하팍로이드에 12억 유로를 정부대출보증으로 제공하였고 KfW (정책금융기관) 주관의 특별 프로그램을 도입하여 중소해운사 및 기업을 위하여 150억 유로 펀드를 조성하였다.

또한 개인투자자 및 금융기관의 차입금 투자로서 선박건조 및 운영에만 투자되는 해운전용펀드인 KG Fund는 정부주도로 1970년부터 육성되어 활성화되었다.(매년 22개 회사 약 30억 달러 투자)

프랑스의 경우 투자전략기금 (French Government Strategic Investment)으로 자국 해운사 CMA CGM의 파산 극복을 위해 1억 5천만 달러를 지원한 바가 있다.

덴마크의 경우 2009년부터 2011년 사이에 Export Landing 제도로 수출신용기관 (EKF)에서 머스크에 약 4억 6천만 달러를 융자 지원하였고 머스크는 이 자금으로 아시아, 유럽 및 남미 조선소에 선박 건조자금으로 이용하였다.

노르웨이 선박금융지원인 KS (Kommandit Selskap) Fund 제도는 일반투자자의 유동자금을 벤처 캐피탈(Venture Capital) 형태로 선박에 투자하고, 이로 인한 투자자의 소득에 대한 과세를 8년간 유예하는 세제 혜택을 주었다. 또한 1980년대부터 정부 선박금융 육성 정책 및 지원을 통하여 선박금융전문가 풀(Pool)도 형성할 수 있었다.

### 2.3.3 LNG추진선 중심 녹색해운 인프라 구축에 대한 선행연구

유럽지역을 운항하고 있는 소형 LNG 추진선을 제외하면 일반 상선을 대상으로 한 LNG 추진선 중심 녹색해운 인프라는 IMO의 MEPC의 결정사항으로 인하여 각 해운기업, 조선업체, 기자재업체 및 각 관련 기관들이 최근 본격적으로 검토를 하고 있는 바, 선행연구 사례는 충분치 않았다.

특히 해운기업의 경우에는 황산화물 및 질산화물의 대기배출오염 문제를 해결하는 다양한 방법을 가지고 내부적 검토 단계이므로 선행연구 사례는 더욱 미흡한 상황이다. 또한 육·해상 전문인력 확보 및 양성, 교육시스템 확보, 녹색해운 인증제도 구축관련 운용 시스템이나 정부 및 금융기관의 지원인 인센티브 정책 등에 대한 선행연구도 더욱 미흡하지만 상대적으로 LNG 추진선, 시설투자에 관한 선행연구가 다수인 것으로 확인되었다.

#### 2.3.3.1 시설투자

김근섭 외 3명(2015)은 선박의 배출가스 경감을 위해서는 LNG 추진선이 최적의 대안이며 전 세계적인 LNG 병커링 수요는 기본적으로 LNG 추진선 도입 전망에 따라 좌우되며, LNG 추진선 도입 전망은 ECA의 확대와 IMO에서 전 해역에 대한 배출가스 규제 도입 시기 등에 따라 차이가 있을 것으로 전망하고 있다.

김선태(2015)는 LNG와 HFO 가격이 동일한 조건에서는 황산화물을 제거하기 위한 스크러버 장치를 설치한 ME 엔진보다 LNG를 사용하는 ME-GI 엔진을 25년간 운항 및 사용 시 소요되는 비용이 적은 것으로 나타났고 IMO와 해운업계는 선박의 대기오염 방지와 운용비용 절감 두 가지 문제의 해결책으로 LNG 추진선을 주장하고 있다.

김태한(2017)은 친환경 선박 보급 확대에 외항 및 내항 분야의 온실가스 배출 감소화 등으로 지속가능한 해운산업 성장을 촉진해야 한다고 하였다.

정재호(2016)는 LNG 병커링사업 활성화 방안 연구에서 추진전략으로 첫째 국가차원의 종합전략이 수립되어야 하며 둘째 기존 한국가스공사의 LNG 인수기지를 중심으로 부산, 인천, 평택항에 단계적으로 투자를 확장하는 방안, 마지막으로 LNG 추진선이 충분해지기 전까지 항만에 운항하는 화물차량 등을 천연가스 차량으로 개조하여 복합수요를 개발함으로써 기반시설에 대한 투자를 유인할 필요가 있음을 제시하고 있다.

이창식(2015)은 LNG 연료추진선박 건조에 많은 비용이 투자되어야 하고 선주사와 에너지사 간에 닭과 달걀 논쟁으로 LNG 병커링이 상업화되기에는 시간이 좀 더 필요할 것으로 예상하고 있다. 그러나 세계 조선업계를 선도하며 국제무역항을 보유한 우리나라가 주변국에 그 지위를 빼앗기지 않으려면 동북아 LNG 병커링 허브시장 선점을 위한 주변 경쟁국의 발 빠른 행보에 적기 대처할 전략이 절실히 필요하다고 주장하고 있다.

또한 Albrecht(2015)은 LNG 병커링 이해관계자를 선주, 가스공급자, 항구, 규제기관, 지방자치 단체, 지역산업, 화주 및 지역주민으로 규정하고, 유기적인 관계를 통하여 LNG 병커링 기지 구축을 하여야 한다고 언급하고 있다.

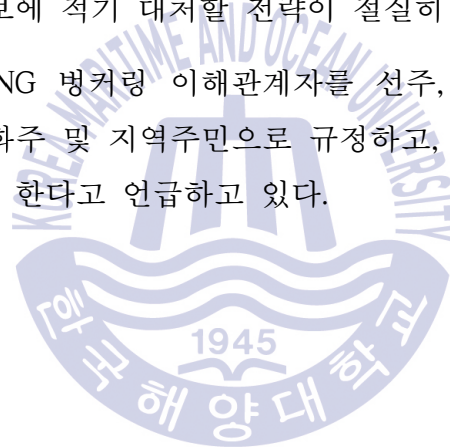


Table 18 시설투자에 대한 선행연구 요약

주제	연구자/기관	연구제목	연구내용
시설 투자	김근섭 외 (2015)	LNG추진선 도입에 따른 항만의 대응 전략	◦ LNG 추진선이 선박의 배출가스 경감을 위한 최적의 대안
	김선태 (2015)	액화천연가스 연료 추진시스템을 적용한 중형 제품유 탱커의 경제성에 관한 연구	◦ LNG 추진선이 선박의 대기오염 방지 및 운용비용 절감을 위한 해 결책
	정재호 (2016)	LNG Bunkering사업 활성화 방안 연구	◦ LNG병커링 사업활성화 추진위한 국가차원 전략 제시 요구 ◦ 부산, 인천, 평택에 LNG 병커링 기지 구축안 제시 ◦ LNG 추진선 수요 증가 전 복합수 요를 개발하여 기반시설에 대한 투자를 유인 필요성 제시
	이창식 (2015)	LNG병커링 산업 진출 전략에 관한 연구	◦ LNG 추진선 건조에 고비용 소요 및 투자 우선순위에 대한 논쟁 예상 ◦ LNG 병커링 허브시장 선점위한 적기대처 전략 필요
	Albrecht (2015)	Stakeholder involvement in developing LNG as a ship in the Baltic sea region	◦ LNG 병커링 이해관계자를 선주, 가스공급자, 항구, 규제기관, 지방 자치단체, 지역산업, 화주 및 지역 주민으로 규정

### 2.3.3.2 운용시스템 구축

김문철(2007)은 해운산업은 국제환경물류변화추세와 더불어 국가차원에서 전략적으로 발전시켜야 할 핵심 성장주도 산업이므로 해운산업 인적자원개발 및 활용에 대한 국가적인 차원의 종합적이고 전략적인 프로그램을 수립하여 추진해야 한다고 하고 있다.

또한 우리나라는 해운분야에서의 교육에 대한 연륜이 짧고, 교재나 커리큘럼이 미흡한 실정이므로 관련한 커리큘럼·교과목·교재개발을 서둘러야 한다고 주장하고 있다.

임종관 외 5명(2010)은 전문 인력은 모든 문제 해결의 근원이므로 국가적 대응으로 대비를 하여야 할 과제로서 IMO 협약 대응을 위한 전문가, 녹색선박 검사·인증 전문가, MBM 해결전문가를 육성하는 체계가 필요하다고 하였고, 김용진 (2015)은 친환경 선박 관련 전문가 양성에 힘을 기울여 국제협상, 친환경선박 전문가 양성 및 지원강화를 하여야 한다고 하였다.

박준희(2014)는 해운선사 대부분이 친환경 항만정책 대응을 위한 전문인력 확보를 통하여 최적의 설비를 이용할 수 있도록 해야 하며 이러한 전문인력을 통하여 국제해사기구, 미국, 유럽 등에서의 친환경 규제 제정 및 개정 시에 직간접적으로 참여하여 합리적인 규제 도입을 유도해야 한다고 주장하고 있다.

Table 19 운용시스템 구축에 대한 선행연구 요약

주제	연구자/기관	연구제목	연구내용
운용 시스템 구축	김문철 (2007)	해운물류기업의 교육 훈련시스템에 관한 사례 분석과 개선방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 해운산업 인적자원개발 및 활용에 대한 국가적인 차원의 종합적인 전략 프로그램 추진 필요 강조</li> <li>◦ 해운분야 커리큘럼·교과목·교재 개발 시급함 강조</li> </ul>
	임종관 외 (2010)	녹색해운 전망과 대응전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 전문 인력의 확보 및 양성은 국가적 대응 과제로서 육성하는 체계의 필요성 강조</li> </ul>
	김용진 (2015)	선박 온실가스 배출규제에 대한 국내 대응방안 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 친환경 선박 관련 전문가 양성 및 지원강화 강조</li> </ul>
	박준희 (2014)	친환경 항만정책이 해운선사에 미치는 경제적 영향에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 친환경 항만정책 전문 인력을 통한 최적의 설비 가동 및 규제 제정 및 개정 시 합리적인 규제 도입 유도 강조</li> </ul>
	서윤희 (2011)	선사의 녹색해운에 대한 인식수준과 전략에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 해운기업의 규모에 따른 녹색해운 규범 인식수준·준비 및 실행수준 상이한 바 녹색해운 확대 정책 수립 시 적극적 고려 필요</li> </ul>
	손애리 (2012)	선박기인 대기오염 규제에 대한 해운기업의 인식도 및 대응전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경영층·종업원 및 이해관계자들의 환경의식 보유를 위한 환경 친화적 경영체계 구축으로 기업의 이윤추구와 환경문제 해결에 대한 신념의 중요성 강조</li> </ul>

### 2.3.3.3 인센티브 정책

박고용 외 1명(2017)은 IMO에서 시도하는 운항선박의 이산화탄소 감축을 위한 강제 규제에 부합하기 위해 운항선사 및 관련자들의 적극적인 참여를 유도해야 하며 이에 대한 방법으로 시장기반 조치에 근거하여 매년 운항선박의 EEOI를 측정하여 전년 대비 이산화탄소 배출량이 감축되었을 때 감축량에 따른 합당한 격려금을 부여하고, 이산화탄소 배출량이 증가하였을 때에는 증가량만큼 벌금을 부과하는 제도 도입을 제안하고 있다.

신동식(2012)은 주요 선진 해운국은 해운산업의 중요성을 인식하여 자국의 조세제도가 해운기업의 경영환경에 더 유리한 국가로 선박자산을 이전하지 않도록 각종 조세감면제도를 실시하기 위해 경쟁하고 있으며, 한국해운기업에 적용된 톤세 제도의 적용은 장기적으로 해운기업에 대한 투자 증대에 상당한 긍정적인 효과가 있는 것으로 판단된다고 하면서 한국의 해운산업의 지속적인 발전을 위해서는 주요 선진국 및 신흥 해운강국으로 부상하고 있는 중국을 비롯한 동남아시아의 해운기업과 경쟁하기 위한 조세환경을 수립하는 것이 필수적이라고 하였다.

김성범(2015)은 정책금융기관의 금융지원, 해운보증기금의 설립 등 해운금융정책이 선박투자에 미치는 영향이 높은 정책으로서 정책금융기관의 해운기업에 대한 대출금액이 외항선대 증가에 큰 영향을 미치고 있음을 밝히고 있다.

문광훈(2011)은 과도한 녹색항만규제는 글로벌 선사들의 기항의도를 낮추거나 다른 항만으로의 기항지 변경 가능성이 높아지므로 녹색항만 정책 활성화를 통한 다양한 녹색항만 금융 및 세제지원 전략, 정책 및 제도 지원과 같은 인센티브 제공이 중요하다고 하였다.

박준희(2014)는 친환경 항만 인센티브제도와 같은 자발적인 참여정책에 대한 전반적인 국내 해운선사의 관심도 및 인식은 점차 증진되고 있으나, 인센티브 혜택이 작은 반면 많은 요구에 수반되는 인력 투입요소가 많아 현실적으로 제도 참여에는 한계가 있다고 하였다.

Table 20 인센티브 정책에 대한 선행연구 요약

주제	연구자/기관	연구제목	연구내용
인센티브 정책	박고용 외 (2017)	EEOI 결과에 따른 탄소세 기반 격려금과 벌과금 부과 방안 제시	◦ 이산화탄소 배출량 감축 및 증가에 따른 격려금 또는 벌과금 부과하는 제도 제안
	신동식 (2012)	톤세 제도 도입이 해운기업의 선박투자에 미치는 효과 분석	◦ 해운산업의 발전을 위해 주요 선진국 및 신흥 해운강국의 해운기업과 경쟁하기 위한 조세환경을 수립하는 것이 필수.
	김성범 (2015)	해운정책이 우리 외항선대 증가에 미치는 영향에 관한 연구	◦ 정책금융기관의 해운기업에 대한 대출금액이 외항선대 증가에 큰 영향을 끼치므로 정책적 고려 필요성 강조
	문광훈 (2011)	우리나라 녹색항만정책 만족도에 관한 연구	◦ 녹색항만 정책 활성화를 위한 금융 및 세제지원 전략, 정책 및 제도 지원과 같은 인센티브 제공중요
	박준희 (2014)	친환경 항만정책이 해운선사에 미치는 경제적 영향에 관한 연구	◦ 친환경항만 인센티브 혜택 작은 반면 요구되는 인력 투입요소 많아 적극적 제도 참여위한 개선책 필요성 강조.
	손애리 (2012)	선박기인 대기오염 규제에 대한 해운기업의 인식도 및 대응전략	◦ 해운기업의 대기오염 억제 활동을 위한 직간접 보조금 지급제도, 공해물질 배출억제 등을 통한 기업들의 노력정도에 따른 차등 환경우대금리제도 도입 역설
	한국수출입은행 (2015)	LNG연료추진선 · 병커링 산업 시장조사 및 경쟁력 분석	◦ LNG추진선 이해 관계있는 관련기관의 출자 유도 또는 환경예산·기금 활용을 통한 보조금 조성 제안 ◦ 재정상 단기 보조금 제도 도입이 어려운 경우 LNG 추진 관공선 유도 정책 제안
	KMI (2015)	세계 해운의 트렌드 변화와 우리나라 해운의 대응방향	◦ 국내 해운산업의 경쟁력·지원을 위한 조세환경 조성 필요 강조



## 제3장 AHP 방법 및 모형설계

### 3.1 AHP의 고찰

#### 3.1.1 AHP의 개념 및 절차

AHP(Analytic Hierarchy Process : 계층분석과정)기법이란 의사결정을 함에 있어서 복잡한 문제 상황의 구성요소간의 상호의존성을 그림으로 조직화 하고 논리적인 판단뿐만 아니라 직관, 감정 그리고 경험까지도 함께 고려하여 문제 해결능력을 향상시키는 의사결정기법이다. 이는 의사결정 문제를 유형의 요소뿐만 아니라 무형의 요소까지도 함께 같은 구조적 틀 속에 집어넣어 고려할 수 있게 해준다.

AHP 기법은 의사결정문제가 다수의 평가기준으로 이루어져 있는 경우, 평가기준을 계층화하여 계층에 따라 중요도를 정하여 가는 것으로 Thomas L. Saaty에 의해 1970년대 초에 개발되었다.

AHP 모형은 다수 대안에 대하여 다면적인 평가기준과 다수 주체에 대한 의사결정이 필요한 경우를 위해 설계된 비교적 새로운 정량적인 평가방법으로써, 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(Pairwise Comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 직관적이고 합리적인 혹은 비합리적인 판단을 동시에 고려하면서도 포괄적인 문제의 틀을 제공한다.

이 모형은 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성, 대상의 범용성이라는 특징으로 다양한 의사결정분야에서 널리 적용되고 있고, 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다.

AHP의 유용성은 계량적인 의사결정변수뿐만 아니라 무엇보다도 계량화하기 어려운 질적 혹은 무형적 의사결정변수에 의해 비율척도로써 측정이 가능하게 해준다는 점과 막연하거나 복잡한 문제를 점차 세부적이고 구체적 요소로 분화하여 단순한 이원비교에 의한 판단으로 의사결정문제의 해결가능성을 높여준다는 점에서 찾을 수 있다.

한편 이러한 기법이 유용성을 가지기 위해서는 아래 Fig. 27의 4가지 공리(Axiom)가 만족되어야 한다.

첫째, 쌍대비교의 결과는 Table 21과 같이 역수관계(Reciprocal Comparison)가 성립되어야 한다. 즉, 의사결정자는 반드시 두 대상에 대한 쌍대비교가 가능해야 하고 그 중요성의 정도는 반드시 역 조건을 만족시켜야 한다는 것으로, A가 B보다 X배 중요하다면, B는 A보다 1/X배 중요시되어야 한다는 것이다.

Table 21 쌍대비교 행렬의 역수관계

구 분	A	B
A	1	X
B	1/X	1

주 : A가 B보다 X배 중요하며, B는 A보다 1/X배 중요함

둘째, 비교척도의 동질성을 갖도록 하여야 한다. 중요도는 한정된 범위내의 일정한 척도를 통해 표현되어야 한다. 만약 특정 계층에 포함된 문제들이 이질적이라면 정해진 척도만으로 표현한다는 것이 어렵거나 불가능하기 때문이다.

셋째, 상대적인 중요도를 평가하는 요인 또는 기준들은 독립적이어야 한다. 요인이나 기준의 속성들은 서로 관련성이 없어야 함을 의미한다. 만약 평가하는 요인들 간의 독립성이 확보되지 않으면 평가결과가 중복된 정보를 갖는 것으로 판명되어 중요도는 객관성과 신뢰성을 잃게 되기 때문이다.

넷째, 기대성을 만족하여야 한다. 이러한 의미는 계층구조가 의사결정에 필요한 모든 사항들을 완전하게 포함하는 것으로 가정하고 분석을 하여야 한다는 이다. 즉, 본질적인 문제해결을 위한 최하위계층에서부터 최상위계층 간에는 의사결정과 관련된 모든 다양한 정보를 반영할 수 있도록 하여야 한다는 것이다.



Fig. 27 AHP의 4가지 공리

이러한 공리사항들이 충족되지 못하는 경우 의사결정 결과에 심각한 문제점이 생길 수도 있으므로, AHP 기법이 가지는 한계점을 명확히 인식하는 것이 중요하다. 일반적으로 알려진 문제점으로는 계층을 구성하는 요인 혹은 기준의 독립성을 검증하기 어려운 경우가 많다는 것, 지나치게 많은 쌍대비교를 행하게 되는 경우 비교판단의 적정성에 관한 문제, 일관적이지 못한 결과를 수정해야 하는 문제와 쌍대비교에 사용되는 척도의 제약이 존재한다는 것이다.

AHP를 이용하여 의사결정 문제를 해결하고자 할 경우에는 일반적으로 다음과 같은 4단계의 절차로 구성되어 있다. (Fig. 28 참조)

첫째, 의사결정 문제를 상호 관련된 의사결정 사항들로 계층을 분류하여 의사결정 계층을 설정하는 과정이다. 계층의 최상층에는 가장 포괄적인 의사결정의 목적이 놓이며, 그 다음의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 속성들로 구성된다. 이들 속성들은 낮은 계층에 있는 것일수록 구체적인 것이 된다.

여기서 한 계층내의 각 요소들은 서로 비교 가능한 것이어야 하고, 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 여러 의사결정 대안들로 구성된다. Saaty(1980)에 따르면 계층에 포함되는 속성들의 수가 많아질수록 쌍대비교의 횟수도 많아지므로 가능하다면 한 계층내의 평가기준들의 수가 9개를 넘지 않는 것이 좋다고 주장하고 있다. 만약 속성의 수가 너무 많은 경우에는 통계적 요인분석을 이용하여 각 계층별 중요 요인을 선정할 수도 있다.

둘째, 의사결정 요소들 간의 쌍대비교로 AHP 행렬을 구하는 과정이다. 이 단계에서는 평가기준들에 대한 의사결정자의 선호정도를 일정한 척도에 의하여 계량화 하는 과정으로 상위계층에 있는 목표를 달성하는데 공헌하는 직계하위계층에 있는 요소들을 쌍대 비교하여 행렬을 작성한다. Saaty(1980)는 쌍대비교를 통하여 상위 항목에 기여하는 정도를 9점 척도로 중요도를 부여하는 것을 제시하고 있으나, 인간의 주관적인 평가를 대상으로 하기 때문에 논란의 여지가 있다.

셋째, 의사결정 요소들의 상대적 가중치를 추정하거나, 비일관성 비율을 고려하여 추출된 지식의 신뢰성을 검증하는 과정이다. 이 단계는 쌍대비교를 행한 후 얻은 행렬을 이용하여 각 계층에 대해서 비교대상 평가기준들이 갖는 상대적 가중치를 추정하는 과정이다. 이 가중치를 추정하는 방법은 100여 가지의 서로 다른 추정법이 있으나, 일반적으로 Saaty의 고유벡터지식의 신뢰도에 대한 지수를 제시하였는데, 이를 일관성 비율(Consistency Ratio : CR)이라고 한다.

일관성이 완벽할 경우 CR값은 0이 될 것이며, 반대로 판단의 일관성이 나빠질수록 CR값은 0보다 큰 값을 갖는다. 그러나 CR값이 너무 크면 판단의 일관성이 지나치게 나쁘다고 보아야 하며, 그러한 판단으로부터 도출되는 가중치를 의사결정에 이용하는 것은 곤란하다. 따라서 CR값이 0.1 이하인 경우에만 판단의 일관성을 인정하고 그 이상인 경우에는 판단을 다시 하거나 수정할 필요가 있다고 지적한다. 하지만 최근 Saaty의 일관성 비율(CR) 범위에 대한 규정이 모호하다는 비판과 탄력적 적용을 위한 시도 및 연구가 활발히 진행되고 있다.

넷째, 최적대안을 얻기 위하여 각 계층에서 구해진 가중치를 종합하는 과정이다. 이 단계에서는 최상위에 있는 목표를 달성하기 위하여 최하위에 있는 속성들이 어느 정도의 영향을 미치는지 또는 어느 정도의 중요성을 갖는지를 알아보기 위해 속성들의 종합 가중치를 구하는 과정이다. 이는 이전 단계에서 구한 각 계층에서의 가중치를 종합함으로써 가능하다. 이를 통하여 평가대상의 우선순위를 결정하고, 대안선택 또는 자원배분의 기초를 제공한다.

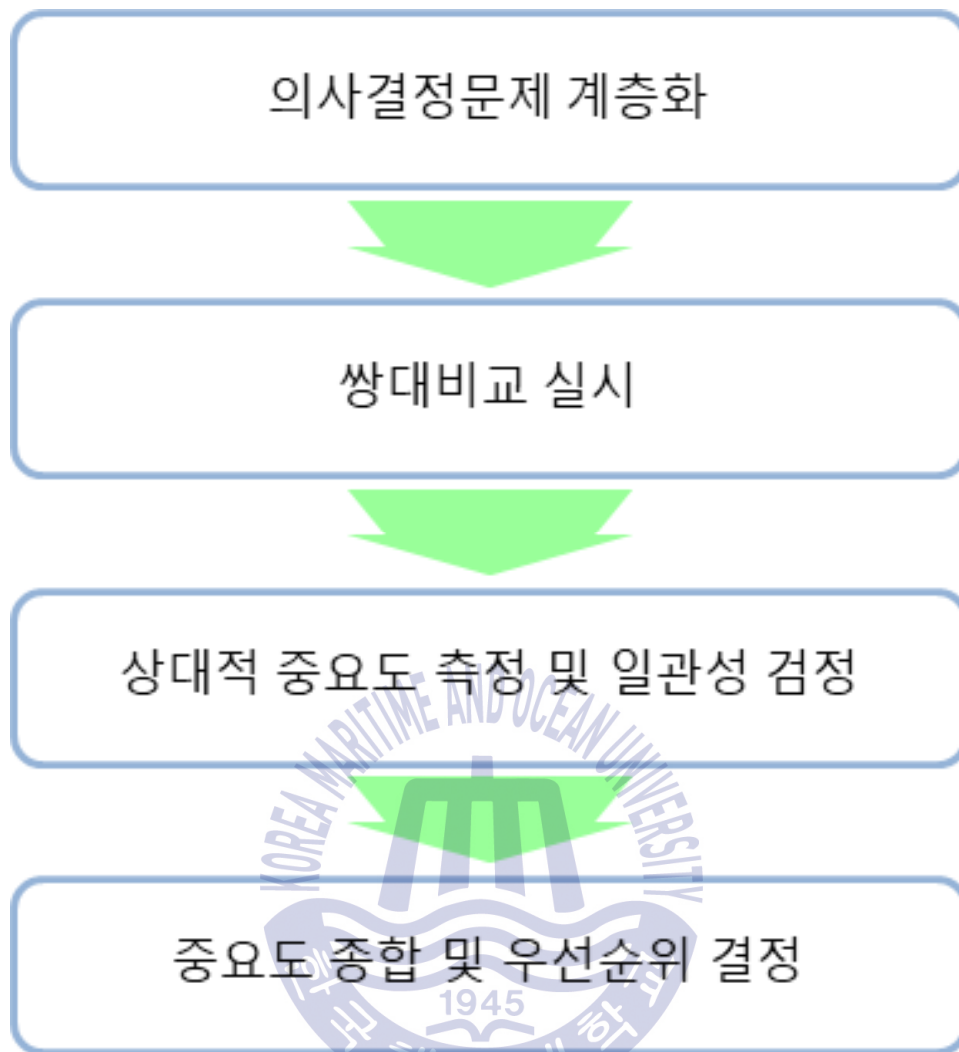
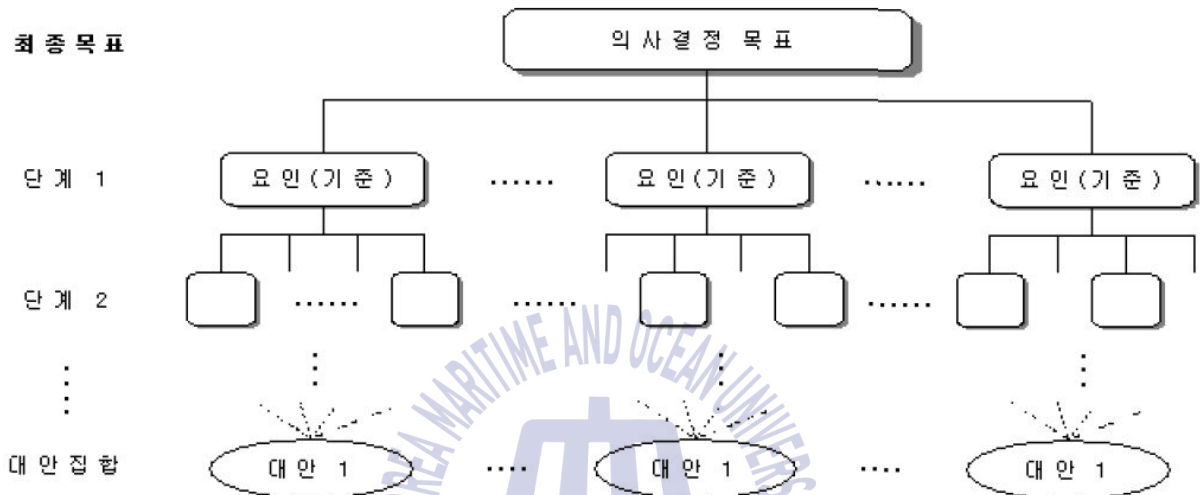


Fig. 28 AHP 의사결정문제 해결과정

### 3.1.2 AHP 계층화 과정

계층화 과정의 첫 단계는 의사결정 목적에 합당한 중요 기준들을 결정하는 것에서 출발한다. 이는 각종 정보 혹은 지식에 의해 합리적으로 결정되어야만 한다. 이러한 기준을 식별한 후에는 이들을 체계적으로 분석하고 상호관련성을 고려하여 단계별 계층구성의 과정을 거치며 이러한 과정은 쌍대비교가 가능하면서 경제적 분석이 가능할 때까지 반복적으로 수행된다. 최상위계층에는 의사결정의 목적 또는 목표가 놓이게 되고 최종단계에는 평가되어야 할 대안이 위치하게 된다.

AHP 기법을 이용하여 문제를 해결하려면, 문제의 기준을 최종목표와 단계로 구분하고 단계별 평가기준, 그리고 대안으로 구분하여 계층을 형성한다. 일반적으로 계층은 가능한 한 세분화되는 것이 바람직한데, 쌍대비교 횟수와 자료수집 및 분석의 편의를 위해 지나치게 많은 계층의 구성은 비효율적일 수 있다. 이러한 일련의 과정을 거쳐 분석적 계층화를 마치면 아래 Fig. 29와 같은 계층화 모형이 구성될 수 있다.



자료 : 장이석, “AHP기법을 이용한 품질경영시스템 평가요인의 중요도에 관한 연구” 고려대학교 경영학 석사학위논문, 1988, p32.

Fig. 29 AHP 계층화 모형

### 3.1.3 중요도 측정 및 일관성 검증

#### 3.1.3.1 중요도 측정

계층분석의 과정은 동일한 단계에 있는 기준들 사이에 중요도를 측정하는 방법 및 척도로 특징 지워질 수 있다. 중요도의 측정은 동일한 단계에 있는 기준들 중 두 개의 요소씩 상호 비교하는 쌍대비교에서 출발하여 쌍대비교들로 구성되는 행렬(matrix)의 고유벡터와 고유행렬값(Eigenvalue)을 이용하거나 이를 간편하게 계산하는 근사적 방법에 의해 중요도가 측정되게 된다. 쌍대비교 시 중요도의 척도는 아래 Table 22와 같다.

Table 22 쌍대비교의 기본척도

중요도	정의	설명
1	비슷함 (Equal Importance)	어떤 기준에 대하여 두 활동이 비슷한 공헌도를 가진다고 판단됨
3	약간 중요함 (Moderate Importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 약간 선호됨
5	중요함 (Strong Importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 확실하게 선호됨
7	매우 중요함 (Very Strong Importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 경험보다 강하게 선호됨
9	극히 중요함 (Extreme Importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 경험보다 극히 선호됨
2, 4, 6, 8	위 값들의 중간 값	경험과 판단에 의한 비교 값이 위 값들의 중간에 해당한다고 판단될 경우 사용함
위 척도의 역수	역비교시 판단자의 일관성 존재를 가정하기 위한 척도	

자료 : 토마스 사티 저, 조근태·홍순욱·권철신 역, 2000. 「리더를 위한 의사결정」, 동현출판사

근사적 방법에 의한 중요도 계산방법은 아래 Table 23과 같다. 먼저 쌍대 비교 행렬의 각 열의 합을 구한 다음, 각 열의 원소를 각 열의 합으로 나눈다. 이렇게 각 열의 값을 정규화 한 뒤, 각 행의 값을 더하여 평균을 구한다. 이 평균값이 바로 중요도가 된다.

Table 23 근사적 방법에 의한 중요도 계산방법

	A	B		A	B		A	B	중요도
A	1	2	A	$1/(3/2)$	$2/3$	A	$2/3$	$2/3$	$\{ (2/3)+(2/3) \} /2=2/3$
B	$1/2$	1	B	$(1/2)/(3/2)$	$1/3$	B	$1/3$	$1/3$	$\{ (1/3)+(1/3) \} /2=1/3$
각 열의 합	$3/2$	3							

중요도 평가과정에 집단이 참여할 경우 집단적 동의에 의한 평가를 함으로써 중요도를 산출할 수 있으나, 개인마다 다른 평가를 할 경우, 기하평균(Geometric Mean)을 사용하여 중요도를 산출한다. 이는 AHP에서 사용하는 행렬은 원소간의 역대칭 특성을 가지고 있기 때문이다. (Table 24 참조)

Table 24 기하평균과 산술평균의 역대칭

구분	기하평균	산술평균
원소	$\sqrt[3]{5 \times 3 \times 6} = \sqrt[3]{90} = 4.48$	$\frac{1}{3}(5 + 3 + 6) = 4.67$
역대칭 원소	$\sqrt[3]{\frac{1}{5} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{6}} = \sqrt[3]{\frac{1}{90}} = \frac{1}{4.48}$	$\frac{1}{3}(\frac{1}{5} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6}) = \frac{1}{4.285}$

모든 단계의 요소들에 대해 상대적 가중치가 계산되면 일관성 검정에 의해 필요한 조정을 행하고 조정된 상대적 가중치를 통해 최종적인 대안들에 대한 중요도 값을 종합화한다. 이러한 종합화된 결과를 통해 의사결정자는 대안을 선택함으로써 AHP에 의한 의사결정과정은 종료하게 된다.

### 3.1.3.2 일관성 검정

비일관성의 문제는 쌍대비교에 의한 판단요소가 정성적이어서 비교결과가 판단자의 주관에 의해 결정되는 경우에 발생한다. 이러한 비일관성의 문제를 검토하기 위해서 고유행렬벡터(Eigen Vector), 최대고유행렬값( $\lambda_{max}$ ), 일관성 지수(CI), 난수 지수(RI), 일관성 비율(CR) 등의 개념이 사용된다. 이하에서는 이러한 개념들과 검정절차를 간략히 살펴해보도록 한다.

고유행렬값은 쌍대비교 측정값의 신뢰도를 나타낸다. 즉, 신뢰도를 통해 일관성에서 벗어나는 정도를 측정함으로써 쌍대비교 행렬의 상대적 일관성을 검정하는데 사용된다. 최대고유행렬값은 일관성의 측정치를 제공하는데, 이 값은 가중치가 무작위로 기대되는 것보다 상대적으로 더 큰 값을 갖는가를 확인하는데 사용된다. 일관성 지수(Consistency Index : CI)는 최대고유행렬값과 각 단계별 쌍대비교 요소의 개수(n)에 대한 함수로서,

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (\text{단, } \lambda_{max} \text{는 쌍대비교 행렬 최대아이젠값, } n \text{은 쌍대비교 요소의 개수})$$

근사적 방법에 의한  $\lambda_{max}$ 의 계산방법은 아래 Table 25와 같다.  $\lambda_{max}$ 의 계산은 Table 23의 처음 쌍대비교 행렬과 중요도 값을 이용하기로 한다. 먼저 처음 쌍대비교 행렬의 열에 각 중요도를 곱한다. 즉, 처음 쌍대비교 행렬의 A열에 2/3을 곱하고 B열에 1/3을 곱한다. 다음으로 이렇게 계산된 행렬의 행의 합을 구한다. 그 다음 각 행의 합을 처음의 중요도로 나눈다. 이렇게 해서 계산된 행렬의 열의 평균을 구하면 그 값이  $\lambda_{max}$  \* (최대고유치)가 된다.



Table 25 근사적 방법에 의한  $\lambda_{max}$  (최대고유치) 계산방법

	A	B	A행의 합/A중요도	(4/3)/(2/3)	=2	$\lambda_{max} =$ (2+2)/2=2
A	1*2/3	2*1/3	B행의 합/B중요도	(2/3)/(1/3)	=2	
B	(1/2)*(2/3)	1*1/3				

AHP를 개발한 Saaty는 일관성 비율(CR)에 의해서 각 단계별 의사결정요소들에 대한 주관적 쌍대비교 결과, 쌍대비교 행렬에 대한 일관성을 검정할 수 있음을 밝혔다. 일관성 비율(CR)은 일관성 지수(CI)를 난수 지수(Random Index : RI)로 나눈 비율을 말하는데, 그는 일관성 비율의 값이 10% 이내인 경우에만 쌍대비교 시의 서수적 순위에 무리가 없는 신뢰도라 말하였다. 여기서의 일관성 비율은 다음의 식과 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \text{ (단, RI는 난수 지수)}$$

한편, 여기서 사용되는 난수 지수는 아래 Table 26과 같이 경험적으로 계산될 수 있다고 알려져 있는데, 주어진 쌍대비교 대상요소의 개수에 따라서 난수 지수의 값이 주어진다.

Table 26 난수 지수

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

주 : n = 행렬의 차원(쌍대비교 요소의 개수)

자료 : T. L. Saaty and L. G. Vargas, The Logic of Priorities, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1982.

난수 지수(RI)는 경험적 실험 자료로부터 얻어진 기대 값으로 1부터 9까지의 정수들을 무작위 추출하여 쌍대비교 행렬을 작성한 후, 이러한 무작위 수치를 가지고 일관성 지수 계산식에 의해 계산된 지수를 말한다. 만약 일관성 비율이 10% 이상이라면 새로운 쌍대비교 행렬을 작성하는 등의 조정절차를 거쳐야 한다. 전문가들로부터의 쌍대비교 자료를 수집하는 경우 대체적으로 일관성이 존재하겠지만, 그렇지 않은 경우 전문가의 기존 평가를 무시하고 새로운 평가를 재요구하는 것은 현실적 문제점으로 지적되고 있다.

### 3.2 AHP 적용의 타당성

AHP는 다수의 목표, 평가기준, 의사결정 주체가 포함되어있는 의사결정 문제를 계층화하여 문제를 해결하는데 목적이 있고, 의사 결정의 문제를 계층화하여 상위의 평가기준의 관점에서 직계하위계층에 있는 요소들의 상대적인 가중치를 쌍대비교해 측정하여, 최종적으로 최하위계층에 있는 대안들의 가중치 또는 우선순위를 구할 수 있도록 해준다.

AHP 분석은 앞에서 언급한바와 같이 의사결정권자의 오랜 경험이나 직관을 중요시하므로 계량적인 정보뿐만 아니라 의사결정에서 다루기 곤란하고 또한 반드시 고려해야 하는 질적인 정보도 쉽게 처리할 수 있는 장점이 있고 (Zahedi, 1990: 권태일,2008), 분석도 비교적 쉬운 장점이 있다(Vargas, 1990). AHP의 장점별 설명은 아래 Table 27과 같다.

Table 27 AHP의 장점

장점	설명
계층적인 구성 (Hierarchic Structure)	복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 표현한다
측정(Measurement)	정성적인 것을 측정할 수 있는 척도 우선순위를 측정하기 위하여 방법을 제공한다
일관성(Consistency)	평가자들의 판단에 논리적 일관성을 검증할 수 있다.
민감도 분석 (Sensitivity Analysis)	의사결정 문제와 관련된 정보 및 상황변화에 대한 민감도를 분석할 수 있다. 즉, 평가기준의 가중치 변화에 대한 대안의 우선 순위의 변화를 알아낼 수 있다.
과정의 반복 (Process Repetition)	상황과 여건에 따라서 수정할 수 있는 모델이다
그룹 의사결정 (Group Decision Making)	다양한 판단으로부터 대표적인 결과를 종합한다

자료 : 조근태 외, 2003.

AHP 단점은 쌍대비교를 해야 하기 때문에 비교대상이 많을수록 쌍대비교의 횟수는 기하급수적으로 증가하게 되어 일관성이 감소하고, 신뢰성 있는 결과도출에 어려움이 있다 (조근태 외, 2003). 설문대상자가 전문가집단이어야 하므로, 설문에 기준과 대안에 대하여 해박한 지식을 가지지 못하면 평가의 왜곡이 발생할 수 있어, 이전의 대안 별 순위가 역전되는 현상이 발생한다(이성근·윤민석, 1994).

### 3.3 세부 평가요인 도출

#### 3.3.1 세부평가 요인 도출 방법

녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 실증분석에 앞서 아래 Fig. 30과 같은 프로세스를 바탕으로 평가 요인을 도출하여 계층분석 구조를 수립하였다.

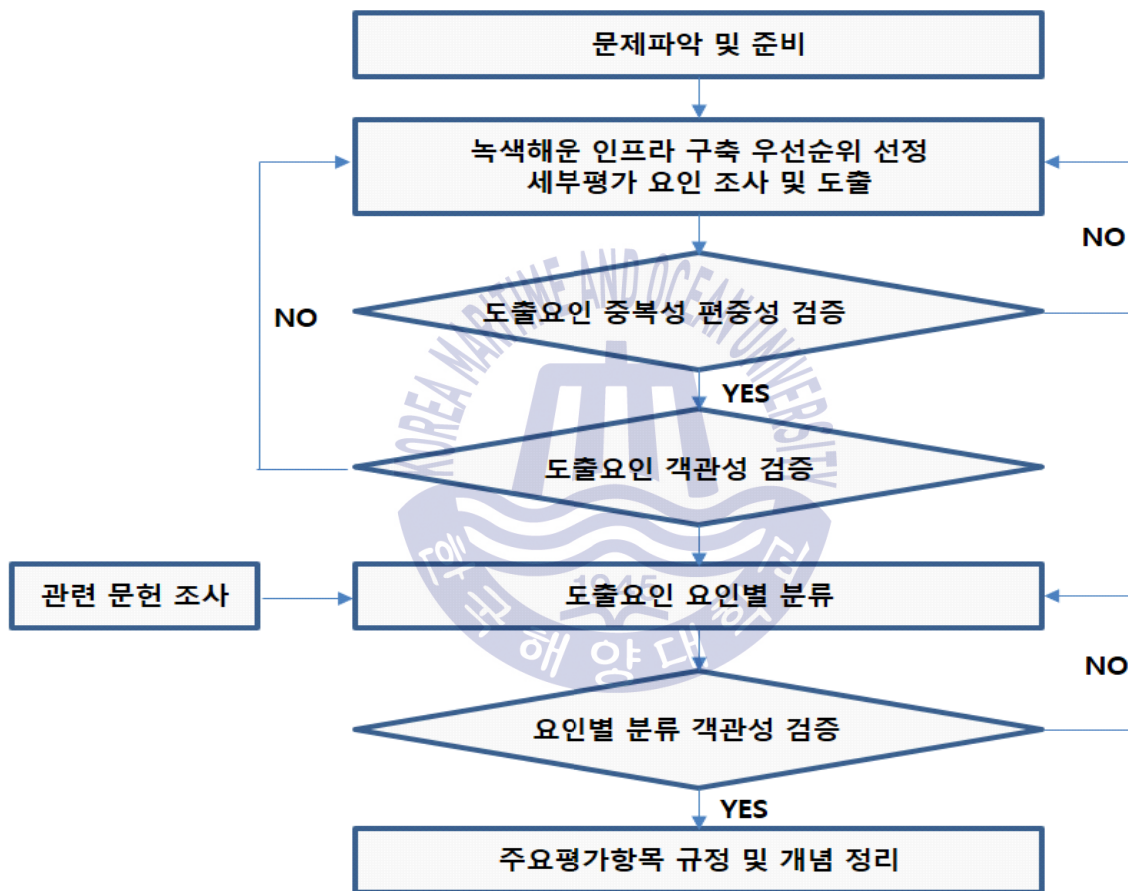


Fig. 30 실증분석을 위한 세부평가 요인 도출 흐름도

##### 3.3.1.1 세부평가 요인의 조사

본 연구는 가장 적합한 평가요인의 선정을 위해 약 2개월간 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 연구 자료의 문헌을 조사하였고, 이와 더불어 해운업계, 조선관련 업계, 학계, 정부·기관 등에 평균 20년 이상 종사하고 있는 전문 인력과의 인터뷰를 통하여 기초적인 세부요인을 조사하여 우선 34개의 세부평가 요인을 도출하였다.

### 3.3.1.2 세부평가 요인의 중복성 및 편중성 검증

1단계에서 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정과 관련하여 수집된 34개의 세부요인의 중복성과 편중성을 고려하여 18개로 세부평가 요인으로 정리하였다.

### 3.3.1.3 세부평가 요인의 객관성 확보

2단계 세부평가 요인 분류과정에서 도출된 18개의 속성에 대하여 객관성 및 전문성 확보를 위하여 현재 해운업계의 주요 의사결정 주체인 임원들을 대상으로 대면 인터뷰를 통하여 아래와 같은 9개의 세부평가 요인을 최종 확정하였다.

- ① LNG 추진선 건조
- ② LNG 병커링선 확보
- ③ LNG 병커링기지 구축
- ④ 육·해상 전문 인력 확보 및 양성
- ⑤ LNG 추진선 교육시스템 구축
- ⑥ 녹색해운 인증제도 구축
- ⑦ 친환경 선박 신조/폐선 보조금 지원
- ⑧ 친환경 선박 비용감면 제도
- ⑨ 친환경 금융지원

## 3.3.2 주요 평가요인 규정

### 3.3.2.1 세부평가 요인 그룹핑(Grouping) 및 주요평가 항목 도출

녹색해운 인프라 구축을 위한 요인의 우선순위 선정을 위하여 9개의 세부평가 요인을 1대1로 정량적으로 비교하는 군집분석이나 요인분석은 쉽지 않다.

본 연구에서는 주요평가요인을 도출하기 위하여 먼저 객관성이 확보된 세부평가 요인들과 참고문헌 등을 통한 자료 수집과 더불어 해운산업에 종사하는 전문가들과의 인터뷰를 통하여 관련 있는 다양한 평가 항목들을 수집하였다.

최종적으로 수집된 세부평가 요인들에 대하여 해운 관련 분야의 임원 등 주요 의사결정권자를 대상으로 면접조사를 실시하여 객관성 및 전문성을 확보하였다.

세부평가 요인들의 연관성 및 유사성을 바탕으로 3가지 주요평가 항목으로 그룹핑(Grouping)하였다.

3가지 주요 평가항목은 “시설 투자”, “운영시스템 구축”, “인센티브 정책”으로, 주요평가 요인별 세부 평가요인 항목을 아래 Table 28과 같이 그룹핑(Grouping) 하였다.

Table 28 세부평가 속성설명 및 내용

주요 평가요인	세부 평가요인	내용
시설 투자	LNG 추진선 신조	선박 대기오염물질에 대한 국제규제강화에 대응하고 친환경 선박활성화를 위하여 LNG 추진선 신조
	LNG 벙커링 선 확보	LNG 추진선의 안정적 운항을 위한 연료공급 선박의 확보는 필수불가결한 조건임
	LNG 벙커링 기지 구축	LNG 벙커링 선과 더불어 LNG 추진선의 안정적 운항을 위한 필수 조건
운영 시스템 구축	육·해상 전문 인력 확보	LNG 추진선의 안전과 안정적 운용을 위해 자격을 갖춘 육·해상 전문 인력의 확보, 양성 필요
	LNG 추진선 교육시스템 구축	지속가능한 NG 추진선의 안전 확보를 위한 육·해상 전문 인력 교육시스템 구축
	녹색해운 인증제도 구축	국제적으로 공인된 육·해상 교육 시스템을 위한 인증제도 구축
인센티브 정책	친환경선박 신조/폐선 보조금 지원	친환경 선박 활성화를 위한 정부 차원의 신조/폐선 지원정책
	친환경선박 비용감면 제도	친환경선박의 항만 기항 시 항비 또는 조세 감면 정책
	친환경선박 금융지원	친환경 선박의 활성화를 위한 정부 또는 금융권의 지원정책

### 3.3.2.2 시설투자 요인

시설투자요인의 세부평가 요인은 LNG 추진선 신조, LNG 벙커링 선 확보, LNG 벙커링 기지 구축 3가지를 선정하였다. 3가지의 세부평가 요인은 닭과 달걀같이 우선 개발 순위 논쟁을 명확화하기 쉽지 않지만 실증분석을 통해 중요도를 도출할 필요가 있다.

### 3.3.2.3 운용시스템 구축 요인

운용시스템 구축의 세부평가 요인은 육·해상 전문 인력 확보 및 양성, LNG 추진선 교육시스템 구축 및 녹색해운 인증제도 구축 3 가지를 선정하였다. 안전을 확보하고 안정적인 운용을 위하여 육·해상 전문 인력의 확보 및 양성이 주요한 사안이다.

이러한 전문 인력의 확보 및 양성을 지속가능하게하기 위해서는 LNG 추진선 교육시스템 구축이 동반되어야하며 국제적으로 공인된 육·해상 교육시스템을 위한 인증제도를 구축함으로써 전반적인 운용 시스템 구축이 가능할 것이라 판단된다.

### 3.3.2.4 인센티브 정책 요인

인센티브 정책의 세부평가 요인은 친환경 선박 신조·폐선 보조금, 친환경선박 비용감면 및 친환경 선박 금융지원 3가지를 선정하였다. 친환경선박의 활성화를 위하여 기존 선박을 폐선/신조 시 보조금 지원을 통하여 개별 해운기업을 지원하여야 한다.

또한 친환경선박이 항만 기항 시 항비 또는 기타 조세를 감면 또는 지원하는 인센티브 정책을 활용하여 해운기업에 대한 지원을 할 수 있으며 나아가 조선 산업에 대한 친환경선박 금융지원을 통해 각 분야의 실질적인 지원 가능한 인센티브 정책이 될 것이라 판단된다.

### 3.3.3 계층분석구조의 설정

AHP에 의한 다기준 의사결정문제의 해결을 위해서 가장 중요한 것은 계층분석구조의 설정이다. 여기서 계층분석구조의 설정은 일회적인 것이 아니라 전문가들과의 인터뷰 등을 통하여 이견이 해소될 때까지 반복적인 과정을 거쳐서 행하여지는 것이 보편적이다. 따라서 이 연구에서는 AHP 전문가와 해운·조선·학회·정부·기관 등의 관련 전문가들의 의견을 수렴하였고 여러 차례의 인터뷰를 통한 수정작업 끝에 구축한 계층구조를 아래 Fig.31과 같이 설정하였다.

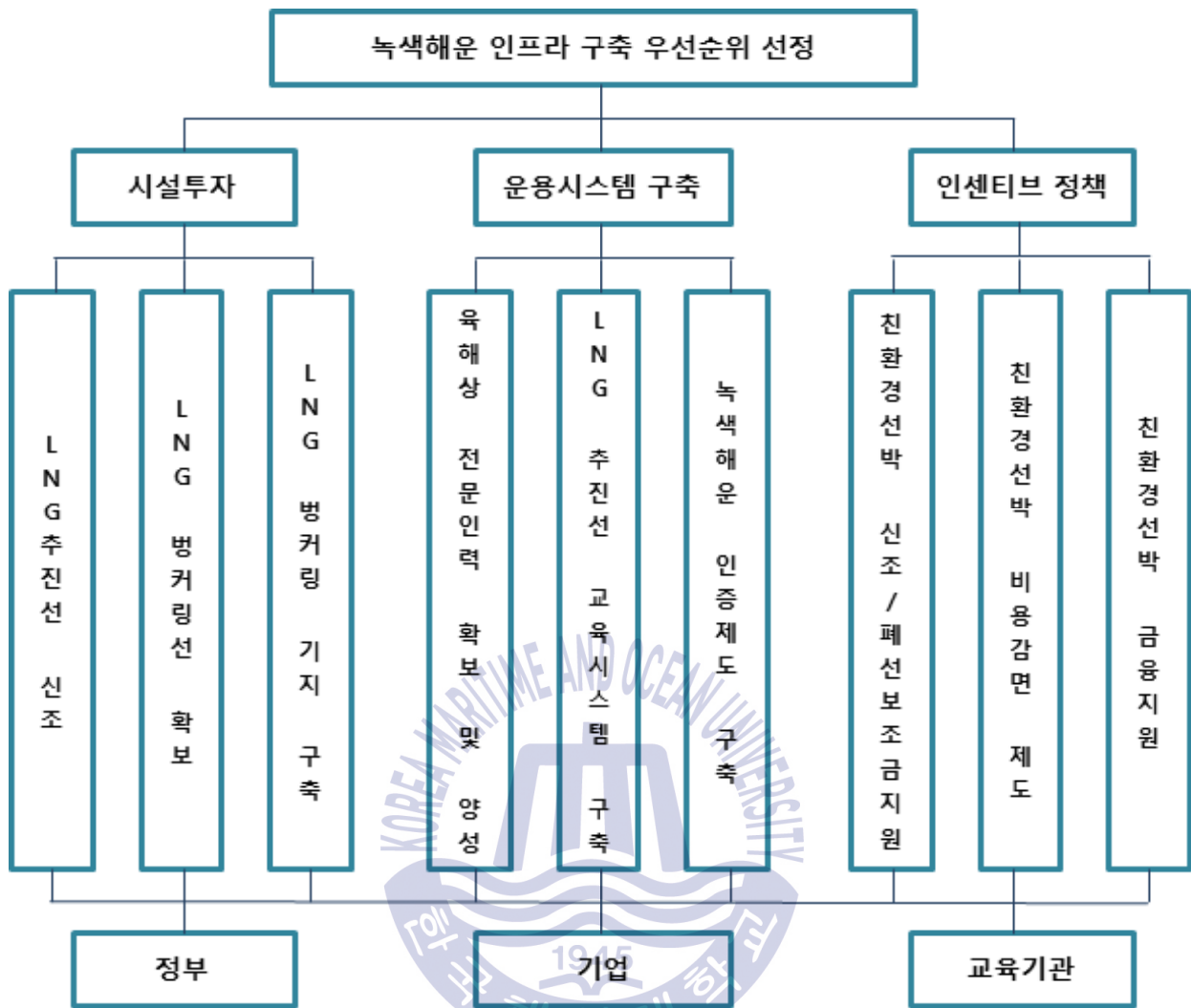


Fig. 31 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 AHP모형

### 3.4 설문조사 대상자 선정과 응답 결과

#### 3.4.1 설문조사 대상자 선정

계층분석적의사결정법은 집단 의사결정 지원수단(Group Decision Support System)으로서 집단 전문가들의 의견을 종합하여 최종적인 의사결정을 하도록 도와준다. 다수의 전문가들이 참여하는 의사결정의 결과는 의사결정 집단에 의해 결정된다.

이를 위해 계층분석적의사결정법의 조사대상자는 해당 분야에 대한 충분한 지식과 이해관계를 갖는 전문가이어야 하며, 의사결정에 관한 각 유형별 특성과 상황별 장단점에 대해 명확하게 평가할 수 있는 객관성을 지니고 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 주 대상인 LNG 추진선과 직·간접으로 관계가 있으며 녹색해운 인프라와 관련하여 충분한 지식과 업력을 겸비한 전문가들로 5그룹을 선정하였다.

첫째, 강화되고 있는 국제해양환경 규제로 인하여 직접적으로 영향을 받으며 LNG 추진선에 대한 많은 실무적 연구 및 대비를 해야 하는 해운업 그룹이다.

둘째, LNG 추진선의 활성화를 대비하여 선제적으로 안전하고 안정적인 선박의 운항 및 관리를 책임져야 할 선박관리업 그룹이다.

셋째, IMO의 선박 규제에 대응하고 또한 친환경 선박인 LNG 추진선 활성화와 연관한 제반 정책적인 제도의 중심에 있는 정부·공공기관·협회 그룹이다.

넷째, LNG 추진선의 활성화 시 선박의 신조·설계를 직접적으로 수행해야 하는 조선업계 그룹이다.

다섯째, LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축을 학문적으로 연구하고 관련 결과를 정부·공공기관등과 공유하면서 정책적 영향을 도모할 수 있는 학계·연구기관 그룹이다.

본 연구의 설문조사는 5개의 집단을 대상으로 직접방문, E-mail 전송을 통해 이루어졌고, 설문 응답자들의 93 %가 20년 이상의 업력을 가지고 있었음에도 불구하고 설문의 유효성 확보를 위한 특별한 요청에 의하여 많은 시간을 소요하여 설문이 작성되었고, E-mail 회신, 직접 수령 또는 우편 접수 등의 방법으로 회수되었다.

### 3.4.2 설문 응답 결과

설문지 회수기간은 2010년 10월 13일부터 28일까지 15일간이었으며 총 69부를 배포, 52부가 회수되었고 최종적으로 유효성 있는 설문 41부가 설문분석에 사용되었다.

Table 29, 30, 31과 같이 유효 설문 응답자 비율은 해운업 39%, 선박관리업 20%, 정부·공공기관·협회 17%, 조선업 7%, 학계·연구기관 5%, 기타 12%였으며, 설문회신자의 근무 경력은 30년 이상 49%, 20년 이상 30년 미만 18%, 10년 이상 20년 미만자가 7%였다.

마지막으로 설문 회신자들의 직위는 CEO 17%, 임원 39%, 팀장급 32%로써 56%가 임원급 이상이었다.



Table 29 응답자 특성조사 : 그룹별

그룹	응답자
해운업	16
선박관리업	8
정부·공공기관·협회	7
조선업	3
학계·연구기관	2
기타	5
합계	41

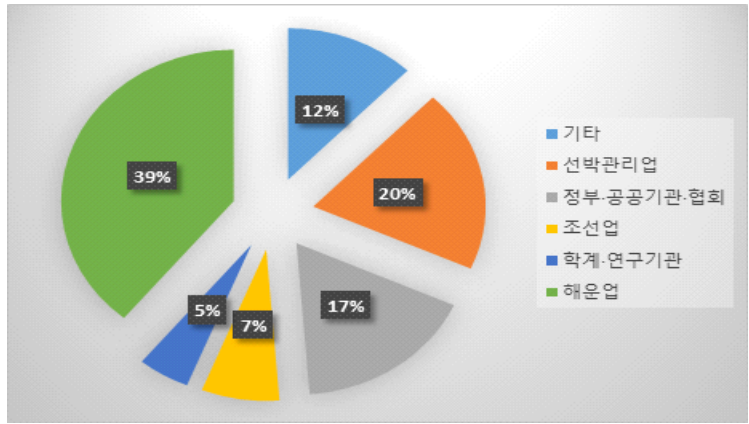


Table 30 응답자 특성조사 : 직위별

직위	응답자
CEO	7
임원	16
팀장급	13
기타	5
합계	41

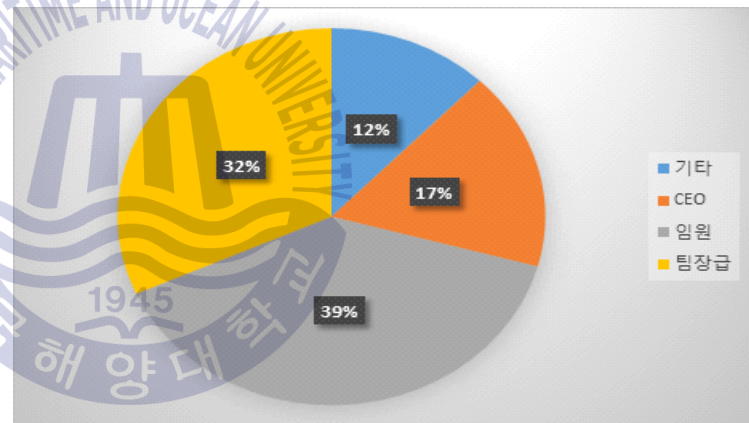
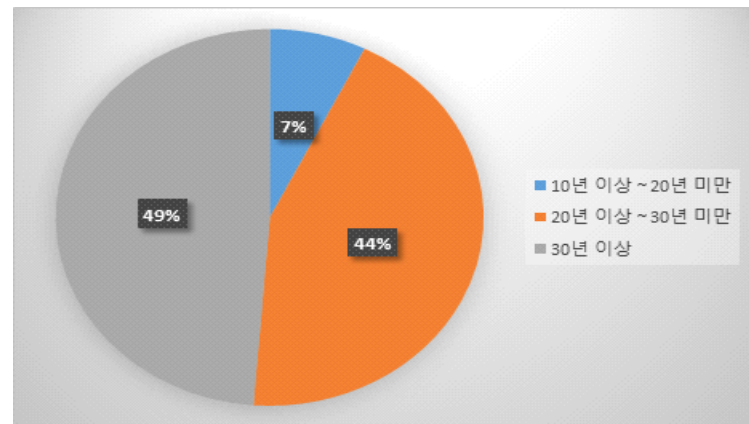


Table 31 응답자 특성조사 : 근무년수별

근무년수	응답자
10년 이상~20년 미만	3
20년 이상~30년 미만	18
30년 이상	20
합계	41



## 제4장 AHP 분석결과

### 4.1 계층별 중요도 평가

계층분석과정에 의한 평가는 평가 집단들의 토의를 통하여 각 쌍대비교 항목에 대한 합의를 도출한 후 이를 이용하는 방법과 개별 평가자들이 각각 평가를 실시한 후에 그 결과를 기하평균을 이용하여 종합하는 2가지 방법이 있다.

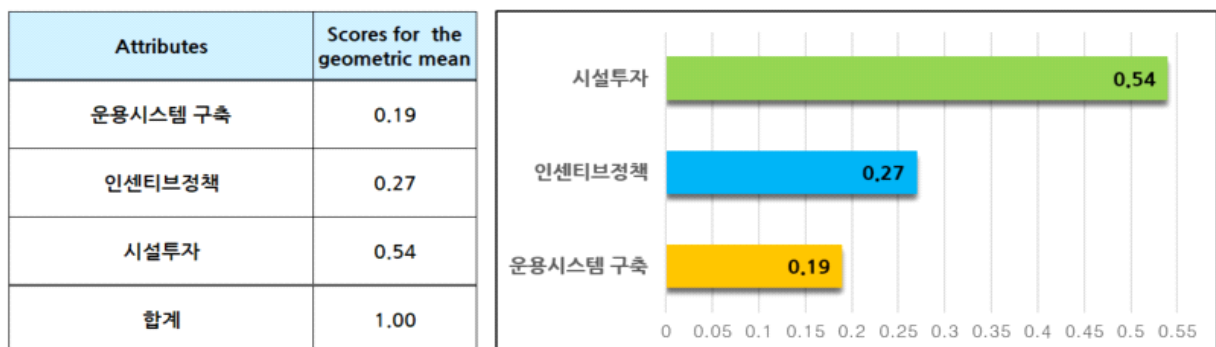
본 연구에서는 설문서를 이용하여 평가를 한 후에 다시 종합하는 후자의 기하평균방법을 선택하였으며, 이런 방법을 이용하는 가장 큰 이유는 기하평균법이 쌍대비교의 역수 성질을 만족하는 유일한 방법이기 때문이다.

따라서 모든 의견을 종합하여 쌍대비교행렬의 각 행렬 값을 Saaty의 1, 3, 5, 7, 9척도에 적용하여 가중치를 계산하였으며 Excel(2013)프로그램을 사용하였다.

#### 4.1.1 주요평가 항목의 중요도

LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위를 결정하기 위하여 의사결정 속성들을 쌍대 비교하여 행렬을 작성하고, 고유치 방법을 사용하여 의사결정 속성들 간의 상대적 중요도를 산출하였다. 설문을 분석한 결과 아래 Table 32와 같이 LNG추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 주요 평가항목의 중요도는 시설투자(0.54), 인센티브 정책(0.27), 운용시스템 구축(0.19) 순으로 도출되었다.

Table 32 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 주요평가 항목 중요도

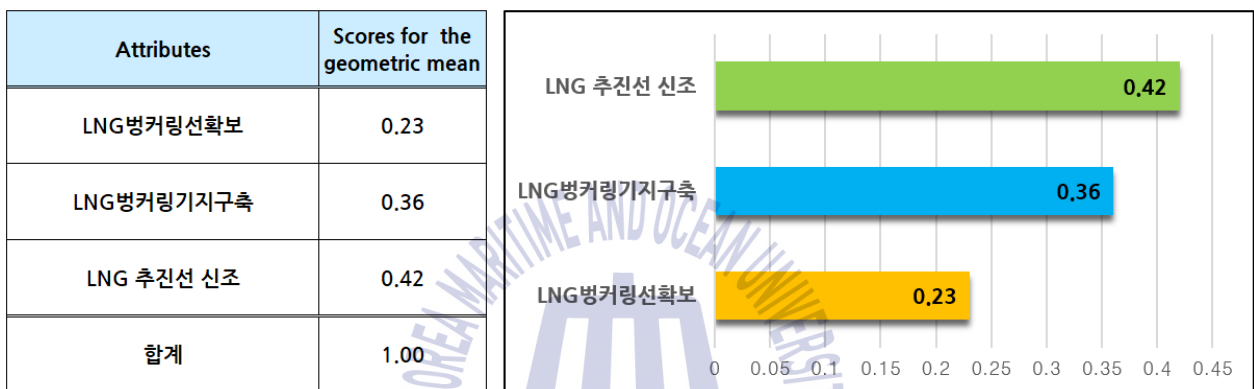


## 4.1.2 세부평가 요인의 중요도

### 4.1.2.1 시설투자

시설투자의 세부평가 요인중요도는 아래 Table 33과 같이 LNG 추진선 신조(0.42), LNG 병커링 기지 구축(0.36), LNG 병커링 선 확보(0.23) 순으로 나타났다.

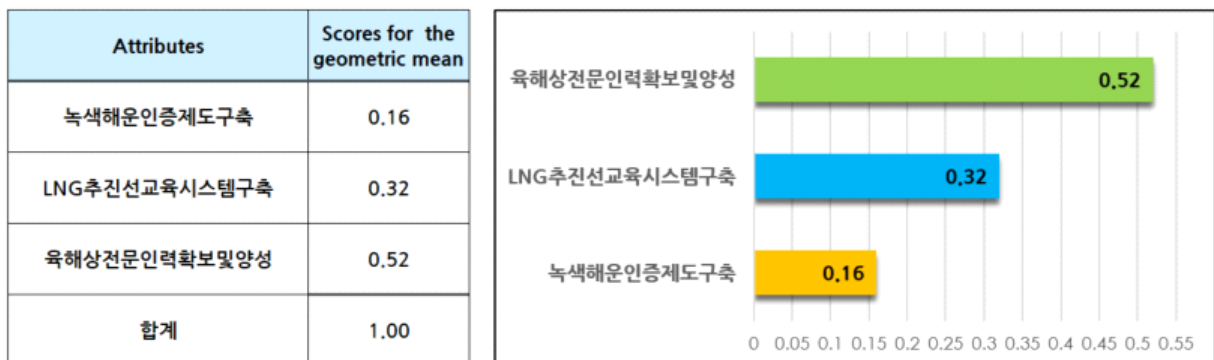
Table 33 시설투자의 상대적 중요도



### 4.1.2.2 운용시스템 구축

운용시스템 구축의 세부평가 요인 중요도는 아래 Table 34와 같이 육·해상 전문 인력 확보 및 양성(0.52), LNG 추진선 교육시스템 구축(0.32), 녹색해운 인증제도(0.16) 순으로 나타났다.

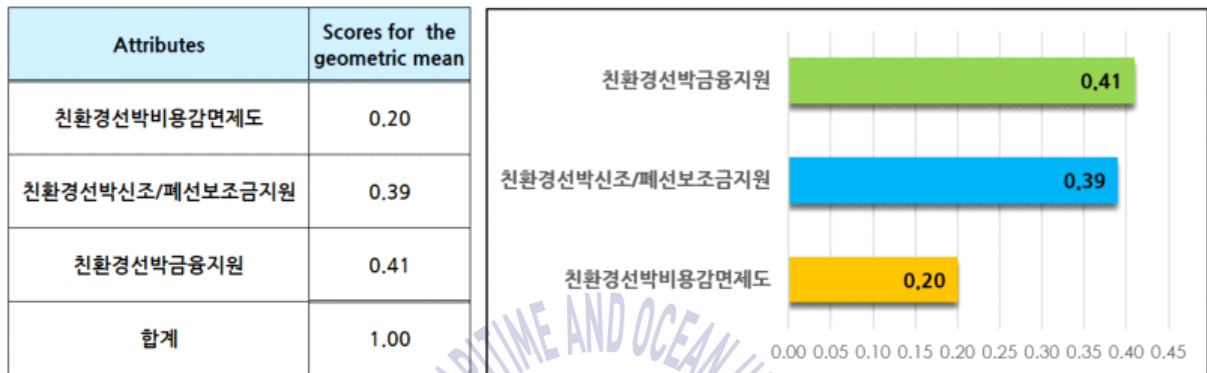
Table 34 운용시스템 구축의 상대적 중요도



### 4.1.2.3 인센티브 정책

인센티브 정책의 세부평가 요인 중요도는 아래 Table 35와 같이 친환경선박 금융지원 (0.41), 친환경선박 신조/폐선 보조금 지원(0.39) 순으로 나타났다.

Table 35 인센티브 정책의 상대적 중요도



### 4.1.3 세부평가 요인의 종합중요도 평가

녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 세부평가 요인의 종합중요도는 아래 Table 36과 같이 LNG 추진선 신조(0.23), LNG 병커링 기지 구축(0.19), LNG 병커링 선 확보(0.12), 친환경 선박 금융지원(0.11), 친환경선박 신조/폐선 보조금 지원(0.10)순으로 나타났다.

Table 36 세부평가 요인의 종합중요도

평가항목	중요도	세부속성	중요도	순위
시설투자	0.54	LNG 추진선 신조	0.226	1
		LNG 병커링 선 확보	0.122	3
		LNG 병커링 기지 구축	0.193	2
운용시스템 구축	0.19	육·해상 전문 인력 확보 및 양성	0.098	6
		LNG 추진선 교육시스템 구축	0.060	7
		녹색해운 인증제도 구축	0.030	9
인센티브 정책	0.27	친환경선박 신조/폐선 보조금 지원	0.105	5
		친환경선박 비용감면 제도	0.055	8
		친환경선박 금융지원	0.111	4

## 4.2 이행 주체간 중요도 평가

### 4.2.1 세부평가 요인별 이행 주체간의 상대적 중요도

녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 3가지 주요평가 항목 즉, 시설투자, 운용 시스템 구축, 인센티브 정책의 상대적 중요도를 산출하였고, 각 세부평가 요인들의 우선 순위를 확인하기 위한 중요도 평가를 실시하였다. 마지막으로 세부평가 요인별 녹색해운 인프라 구축 관련하여 연관성이 높고 주요 수행주체로 판단되는 정부, 기업 및 교육기관 간의 상대적 중요도를 아래 Table 37~45와 같이 평가 하였다.

Table 37 LNG 추진선 신조에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

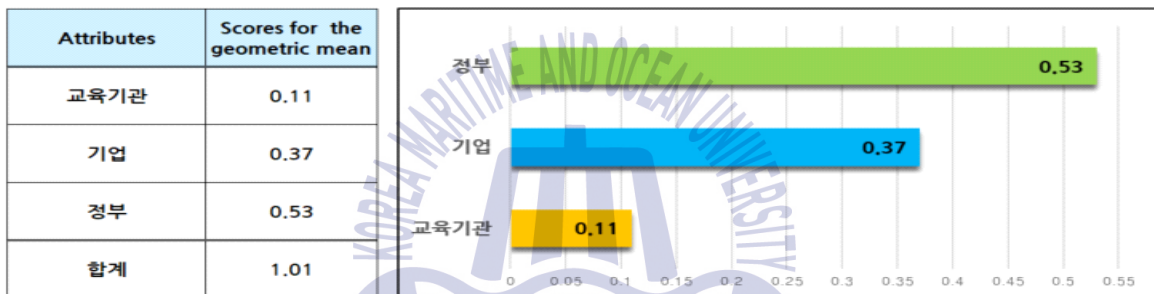


Table 38 LNG 병커링 선 확보에 대한 이행주체요인 상대적 중요도



Table 39 LNG 병커링 기지 구축에 대한 이행주체요인 상대적 중요도



Table 40 육·해상 전문 인력 확보 및 양성에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

Attributes	Scores for the geometric mean
기업	0.24
정부	0.37
교육기관	0.39
합계	1.00

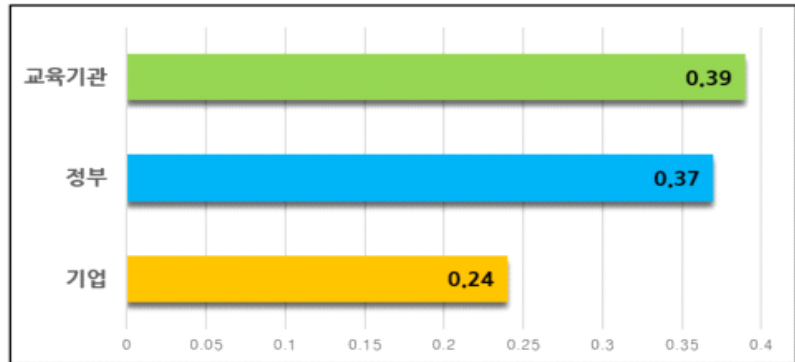


Table 41 LNG 추진선 교육시스템에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

Attributes	Scores for the geometric mean
기업	0.21
정부	0.31
교육기관	0.49
합계	1.00

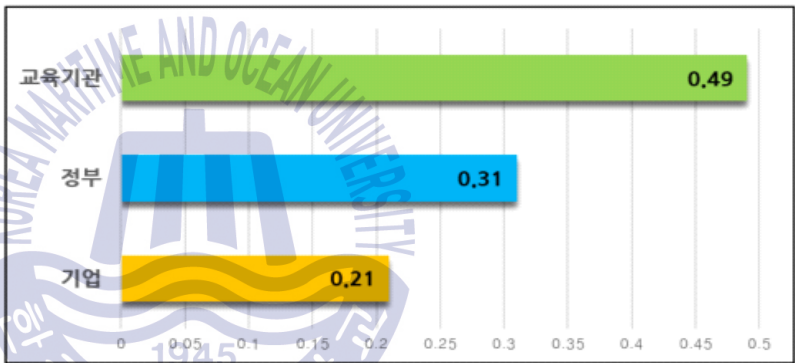


Table 42 녹색해운 인증제도 구축에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

Attributes	Scores for the geometric mean
기업	0.16
교육기관	0.18
정부	0.67
합계	1.00

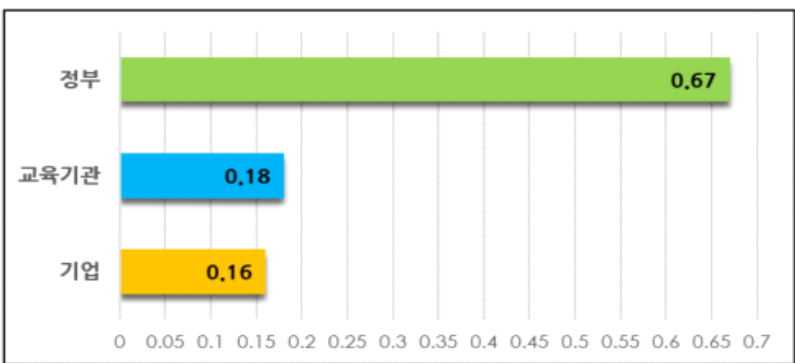


Table 43 친환경선박 신조/폐선 보조금 지원에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

Attributes	Scores for the geometric mean
교육기관	0.09
기업	0.19
정부	0.72
합계	1.00

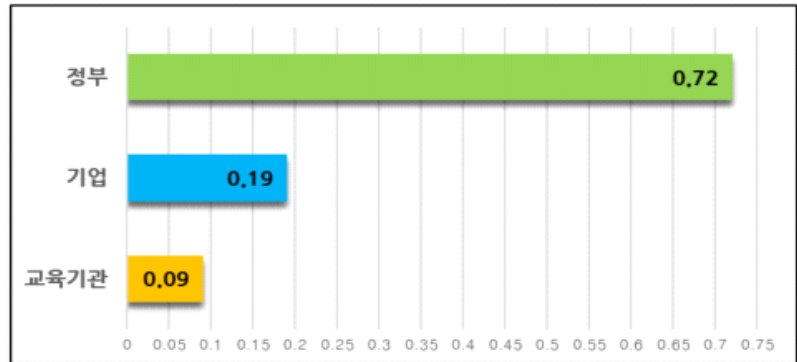


Table 44 친환경선박 비용감면제도에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

Attributes	Scores for the geometric mean
교육기관	0.09
기업	0.19
정부	0.72
합계	1.00

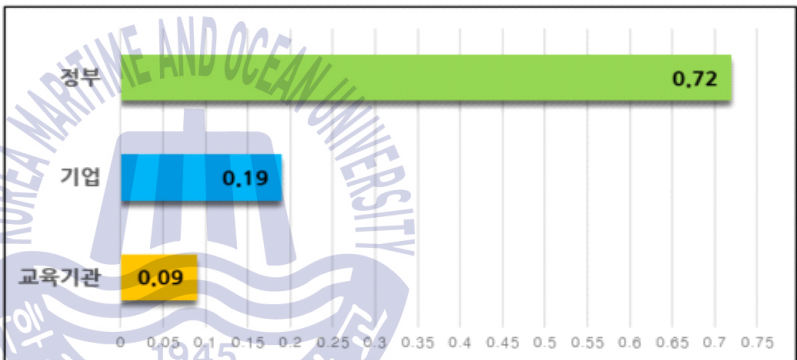
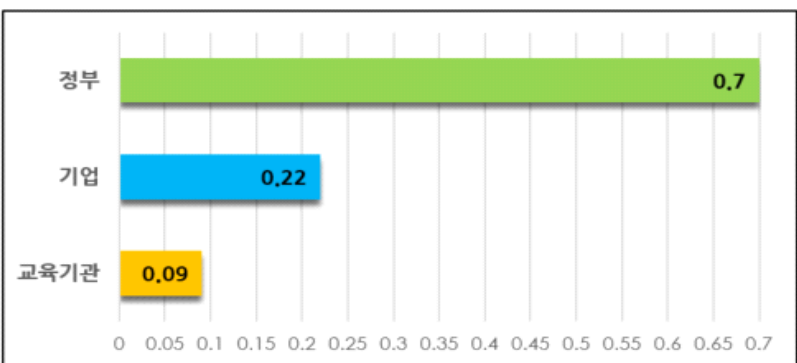


Table 45 친환경선박 금융지원에 대한 이행주체요인 상대적 중요도

Attributes	Scores for the geometric mean
교육기관	0.09
기업	0.22
정부	0.7
합계	1.00



#### 4.2.2 세부평가 요인별 이행주체 간의 상대적 중요도 평가

녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 세부평가 요인인 중 육·해상 전문인력 확보 및 양성과 LNG 추진선 교육시스템 구축만을 제외하고는 모든 세부평가 요인 중 상대적 중요도가 높은 것은 아래 Table 46에서와 같이 정부로 평가되었다.

Table 46 세부평가 요인별 이행주체 간의 상대적 중요도

세부속성	이행주체 요인	중요도
LNG 추진선 신조	정부	0.53
	기업	0.37
	교육기관	0.11
LNG 병커링 선 확보	정부	0.53
	기업	0.36
	교육기관	0.12
LNG 병커링 기지 구축	정부	0.69
	기업	0.23
	교육기관	0.08
육·해상 전문 인력 확보 및 양성	정부	0.37
	기업	0.24
	교육기관	0.39
LNG 추진선 교육시스템 구축	정부	0.31
	기업	0.21
	교육기관	0.49
녹색해운 인증제도 구축	정부	0.67
	기업	0.16
	교육기관	0.18
친환경선박 신조/폐선 보조금 지원	정부	0.72
	기업	0.19
	교육기관	0.09
친환경선박 비용감면 제도	정부	0.72
	기업	0.19
	교육기관	0.09
친환경선박 금융지원	정부	0.70
	기업	0.22
	교육기관	0.09



## 제5장 결 론

### 5.1 연구의 요약 및 의의

본 연구를 통하여 LNG연료는 기존 석유계 연료대비 질산화물 (NOx)과 황산화물(SOx)의 배출을 80~90% 까지 감소시키고, 이산화탄소(CO2) 배출은 20% 이상 저감시킬 수 있으며. 가용 연료 중 중유(HFO)는 연료비는 낮으나 환경적 부담이 크고, 디젤유(MDO)는 배기가스 배출은 낮으나 가격적 부담이 있어 LNG 연료가 상대적으로 친환경적이고 경제적인 연료로 확인되었다.

이러한 연구 배경을 기반으로 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정을 위한 설문 결과 주요 평가항목 중 시설투자가 상대적으로 가장 중요하다고 평가되었다. 또한 세부평가요인들의 종합 중요도에서 시설투자의 세부평가요인은 LNG 추진선 신조, LNG 병커링 기지 구축 및 LNG 병커링 선 확보가 각각 순서대로 중요하다고 평가되었다.

그러나 LNG 추진선 관련한 해운업계의 현실적 대응은 추진 세부전략에 대한 우선순위에 부합되게 명확화 되지 않았으며, 원활한 운용을 위한 LNG 병커링 기지의 구축과 LNG 병커링 선 확보 등에 대한 구체적 계획도 수립되어 있지 않은 상황이다.

또한 어려운 해운업계의 상황을 대변하듯 LNG 추진선의 신조를 위해서는 친환경선박 금융지원과 친환경 선박 신조/폐선 보조금 지원이 LNG 추진선 신조, LNG 병커링 기지 구축 및 LNG 병커링 선 확보 다음으로 중요하다고 평가되었다. 따라서 해운업계가 친환경 선박을 활용해 글로벌 시장에서의 경쟁력 우위 확보를 위해서는 시설투자와 인센티브 정책들이 선결되어야 하는 것이 필수적인 것으로 확인되었다.

이러한 국내의 현실과는 무관하게 국제해사기구 2020년 1월 1일부터 황 함유율이 0.5 % 이하인 선박연료유를 의무적으로 사용해야 하는 황산화물(SOx) 배출규제를 실시할 예정이고, 본 규제를 만족치 못하는 선박은 운항할 수 없게 된다.

본 연구를 통하여 확인한 녹색해운 해외 선도 국가들은 정부와 기업 간의 유기적인 공조로 필요한 시설투자를 이미 구축한 상태이고 이러한 시설투자를 유도하기 위한 다양한 인센티브 정책으로 현재의 녹색해운 인프라들을 구축한 것으로 확인되었다.

하지만 한진해운 파산으로 위기에 내몰린 한국 해운업이 좀처럼 회복세를 보이지 못하고 있는 가운데 해운업계는 국제해사기구의 해양과 대기 오염 방지를 위한 최적의 방안을 찾기 위하여 각고의 노력을 하고 있다. 이를 위한 친환경 선박으로의 개조 또는 신조를 위해서는 대규모 투자가 필요하다.

또한 이러한 투자에 대한 의사결정을 위해서는 LNG 병커링 기지 구축과 LNG 병커링 선 확보에 대한 확신이 있어야 만이 가능하다. 하지만 이에 대한 확신이 없으므로 인하여 해운업계의 LNG 추진선에 대한 투자 또는 신조 결정은 지속적으로 유보되어 지고 있다. 이는 최근 국내 해운업계에 의하여 신조 발주되고 있는 선박들이 LNG Ready로 계약되고 있는 것이 하나의 반증이기도 하다.

본 연구의 의의는 국제적인 환경규제에 효율적으로 대응하기 위하여 LNG 추진선 도입 및 LNG 병커링 환경조성을 본격화하고 있는 해외 녹색해운 인프라 구축 현황 및 계획 등을 통하여 우리의 현재 수준을 구명하고, 장기해운불황에 위축되어 있지만 더 이상 친환경 선박에 대한 투자를 피하거나 늦출 수 없는 해운업계가 글로벌 경쟁력을 갖추기 위해서 LNG 추진선 신조, LNG 병커링 기지 구축 및 선박 확보가 무엇보다 중요하다는 것을 확인하였다.

또한 본 연구를 통하여 국내의 녹색해운 인프라 수준의 현황과 수준 차를 알 수가 있었고 또한 설문조사를 통하여 각 세부 요인들의 이행 주체에 대한 중요도를 분석한 결과 육·해상 전문 인력 확보 및 양성과 LNG추진선 교육시스템 구축 요인을 제외한 모든 세부 요인들의 이행 주체로서 정부의 중요도가 상대적으로 높게 나타난 것을 확인하였다.

따라서 녹색해운 인프라 구축의 선제적 대응을 통하여 친환경 선박 시대의 서막을 열기 위해서는 제반 세부 요인들의 이행주체가 정부가 되어야 한다는 것을 확인하게 된 것에 그 의의가 있다고 하겠다.

## 5.2 연구의 한계 및 향후 연구과제

본 연구는 LNG선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위를 확인하기 위하여 국내의 해운업계를 비롯한 선박관리업, 정부·공공기관·협회, 조선업 및 학계·연구기관에서 20년 이상 근무한 임원급 이상을 대상으로 하여 설문을 수행하였다. 그러나 제한된 시간적 여건으로 인하여 이미 녹색해운 인프라가 구축되어 있거나 진행 중인 해외의 사례를 참고하기 위한 설문이 이루어지지 못한 점을 본 연구의 한계로 생각한다.

향후 연구과제를 위해서는 3면이 바다로 둘러싸여 있는 반도국가인 국내의 환경적 여건과 이미 친환경선박관련 인프라가 구축되어 있거나 추진 중인 글로벌 국가 간의 환경적 여건의 차이가 무엇인지 면밀히 분석할 필요가 있다. 또한 이를 위하여 국내보다 먼저 녹색해운 인프라를 구축하게 된 각 국 정부 정책의 동인이 무엇인지에 대한 후속 연구가 국내 해운업계의 글로벌 경쟁력을 조속히 갖추는데 일조할 수 있을 것으로 생각한다.



## 참고문헌

### [단행본]

- 김병욱, 2015. *의사결정계층(AHP) 분석방법*, 서울, 김스정보전략연구소.
- 이성근·윤민석, 1998. *AHP기법을 이용한 마케팅 의사결정*, 서울, 석정.
- 조근태, 조용근, 강현수, 2003. *앞서가는 리더들의 계층 분석적 의사결정*, 서울, 동현출판사.
- 토마스 사티 저, 2000. 조근태·홍순욱·권철신 역, *리더를 위한 의사결정*, 서울, 동현출판사.

### [국내문헌]

- 김근섭 등, 2015. LNG 추진선 도입에 따른 항만의 대응전략. 한국해양수산개발원.
- 김문철, 2007. 해운물류기업의 교육훈련시스템에 관한 사례분석과 개선방안. 석사학위논문. 한국해양대학교.
- 김선태, 2015. 액화천연가스 연료 추진시스템을 적용한 중형 제품유 탱커의 경제성에 관한 연구. 석사학위논문. 한국해양대학교.
- 김성범, 2015. 해운정책이 우리나라 외항선대 증가에 미치는 영향에 관한 연구. 박사학위논문. 인천대학교.
- 김용진, 2015. 선박 온실가스 배출규제에 관한 국내 대응방안 연구. 석사학위논문. 인하대학교.
- 김우선, 2010. 녹색해운의 동향 과제, *ie 매거진*, 제17권 제3호, 대한산업공학회, p.23.
- 문광훈, 2011. 우리나라 녹색항만정책 만족도에 관한 연구. 석사학위논문. 중앙대학교.
- 물류신문, 2015. 녹색물류 도약을 위한 인식전환과 선진국가의 녹색물류 사례에서 본 시사점 1.
- 박고용, 조권희, 2017. EEOI 결과에 따른 탄소세 기반 격려금과 벌과금 부과 방안제시, *한국마린엔지니어링학회지* 제 41권 제4호, p.327.
- 박준희, 2014. 친환경 항만정책이 해운선사에 미치는 경제적 영향에 관한 연구. 석사학위논문. 중앙대학교.

- 백충기, 2013. 국내 선박, 해양금융시장 확대 방안, BS금융지주 경제연구소.
- 산업통상자원부, 2015. LNG연료추진선박산업 활성화방안.
- 삼성물산, 2014. Construction story of Singapore LNG Terminal, a vision of energy independence.
- 서윤희, 2011. 선사의 녹색해운에 대한 인식수준과 전략에 관한 연구. 석사학위논문. 중앙대학교.
- 손애리, 2012. 선박기인 대기오염 규제에 대한 해운기업의 인식도 및 대응전략. 석사학위논문. 중앙대학교.
- 신동식, 2012. 톤세제 도입이 해운기업의 선박투자에 미치는 효과분석. 박사학위논문. 단국대학교.
- 이창식, 2015. LNG빙커링 산업 진출 전략에 관한 연구. 석사학위논문. 한양대학교.
- 인천항만공사, 2013. 인천항 GREEN Port 구축 종합계획수립.
- 임종관, 2010. 새로운 10년의 기회와 도전-녹색해운, 「계간해양수산」, 제1호, 한국해양수산개발원, pp.8-11.
- 임종관 등, 2010. 녹색해운 전망과 대응전략, 한국해양수산개발원, pp.138-139.
- 장경석, 2013. 해운환경 규제, 친환경 선박 시대의 서막, *하나 산업정보 2013년 제2호*, 하나금융경영연구소 .
- 정재호, 2016. LNG Bunkering 사업 활성화 방안 연구. 석사학위논문. 한양대학교.
- 지용보, 2015. 중국 LNG 동력선박 발전 방향, KMI 중국리포트, pp.2-5.
- 한국산업기술평가관리원, 2015. LNG연료추진선 및 빙커링 기술로드맵.
- 한국수출입은행 해외경제연구소, 2015. LNG 연료추진선 · 빙커링산업 시장조사 및 경쟁력 분석.
- 한국해양수산개발원, 2015. 세계해운의 트렌드 변화와 우리나라 해운의 대응방향, 2015 CEO 초청해운시황 세미나, pp10-14.
- \_\_\_\_\_ , 2017. KMI 중국연구센터 Facebook.
- \_\_\_\_\_ , 2017. 동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 빙커링 터미널 구축 서둘러야, *KMI 동향분석*.
- 한국해운신문, 2015. 현대삼호重, 세계 최대 ‘LNG-Ready’ 컨선 건조.
- 해양수산부, 2017. 녹색해운 발전방안 마련을 위한 연구.
- 해양한국, 2016. LNG 연료에 주목하는 선사들, 519호.
- DNV Korea, 2013. 동남권 LNG 빙커링 기본계획수립 연구, 한국가스공사/경남에너지, p45-46.

[외국문헌]

- Saaty, T. L., 1986. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill: New York,1980., Axiomatic Foundation of Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, Vol.32, No.7, p.16.
- Albrecht, Jorg, 2015. Stakeholder involvement in developing LNG as a ship fuel in the Baltic sea region, School of Business and Economics, University of Jyväskylä.
- Anthony Barker, 2013. Singapore-Emergence of a new LNG market and the role of the aggregator, LNG 17.
- ABS, 2015. Bunkering of Liquefied Natural Gas-fueled Marine Vessels in North America, pp.67-68.
- AGA, 2013. SeaGas Stockholm, p.26.
- Bunker Index, 2015. Chinese firms create LNG bunkering JV-LNG bunkering stations to be built in Yangshan and Waigaoqiao.
- CNOOC, 2014. LNG as Marine Fuel & Bunkering in China, APEC, Greener Voyage Fuelled by LNG, p.6.
- Darnell Baldimelli, 2014. Washington State Ferries' LNG Project, Washington State Department of Transportation.
- DNV, 2011. Commercial and Strategic Opportunities for LNG in China.
- DNV-GL, 2013. Safety and Navigational Risk Assessment for LNG-Fueled Passenger Ferry Vessels, Washington State Ferries.
- \_\_\_\_\_, 2014. Global LNG bunkering infrastructure-A status update as of January 2014, pp.3-5.
- \_\_\_\_\_, 2015. In focus - LNG as Ship Fuel, p.43.
- Fluxys Terminal, 2014. Energy Chart Zeebrugge, p.44.
- gCaptin, 2013. Washington State Ferries and DNV Explore LNG as a Fuel.
- HHP Insight, 2015. Tote' s Commitment Is Environmental.
- Lloyd' s Register, 2012. LNG-fuelled deep sea shipping-The outlook for LNG bunker and LNG-fuelled newbuild demand up to 2025, pp.6-25.
- LNG in Baltic Sea Ports, 2014. *LNG in Baltic Sea Ports-LNG Handbook*, pp.42-44.
- LNG World News, 2013. China Approves LNG Bunkering Project in Zhoushan.
- LNG World Shipping, 2017. LNG Fleet Data.
- Mary Fleckenstein & Kathy Scanlan, 2012. "Evaluating the Use of Liquefied Natural Gas in Washington State Ferries-Final Report" , Joint Transportation Committee & Cedar

River Group.

Matson release, 2015. Matson Begins Production on New ‘Aloha Class’ Ships for Hawaii.

Mitsubishi Corporation, 2014. Mitsubishi Corporation, GDF SUEZ and NYK Form Partnership in LNG Bunkering Business.

Morten Winter, 2008. New National Emission Inventory for Navigation in Denmark, National Environmental Research institute.

MPA, 2015. Singapore advances LNG bunkering efforts to meet future demand-Port of Singapore offers S\$12 million funding for building of LNG-fuelled vessels.

NGVA europe, 2013. European Commission Selects 7 LNG Projects as Winners in TEN-T Call 2012.

NRDC, 2014. Prevention and Control of Shipping and Port Air Emissions in China.

Puget Sound Energy, 2014. PSE, Totem Ocean Sign Fuel Supply Agreement PSE to Provide LNG to Totem Ocean’ s Vessels.

Shell, 2015. Shell to build innovative bunker vessel to deliver LNG fuel.

Ship&Bunker, 2014. New LNG Bunkering Station on Yangtze.

Steering Group, 2014. LNG in Baltic Sea Ports, LNG Stakeholders Seminar, p.10.

Thomas Tork, 2013. A LNG Terminal for Hamburg-Modular approach, tailored to suit market needs, *Bomin Linde LNG*, pp.16-19.

Tri-Zen, 2015. LNG Markets Perspectives, p.3.

Zheng Wan, Mo Zhu, Shun Chen & Daniel Sperling, 2016. “Pollution : Three steps to a green shipping industry” , *Nature* 530, pp.275-277.

2b1st Consulting, 2014. Finland and Estonia agree on LNG Import Terminals projects.

## [기타 자료]

<http://enneu.com/chinas-first-standardized-inland-water>

<http://www.fluxys.com/belgium/en/About%20Fluxys/Infrastructure/LNGTerminal/LNGTerminal>

<http://greenship.org/>

<https://www.green4sea.com/using-selective-catalytic-reduction-to-comply-with-nox-tier-iii/>

<http://www.gibraltar-shipping.com/key-interviews/interview-peter-keller-executive-vice-president-tote-inc>

<http://www.mediakn.com/news/article.html?no=3820>

[http://www.mpa.gov.sg/sites/port\\_and\\_shipping/port/bunkering/bunkering.page](http://www.mpa.gov.sg/sites/port_and_shipping/port/bunkering/bunkering.page)

<http://pse.com/inyourcommunity/pse-projects/system-improvements/Pages/Tacoma-LNG-project.aspx>

<http://www.shell.com/global/products-services/solutions-for-businesses/shipping-trading/innovative-bunker-vessel.html>

<http://www.skargas.com/en/our-portfolio/terminal-capacity/or-a-terminal/>

<http://www.slng.com.sg/>

<http://www.theicct.org/blogs/staff/cutting-carbon-ships>

[http://www.welcomeurope.com/european-funds/marco-polo-ii-461+361.html#tab=onglet\\_details](http://www.welcomeurope.com/european-funds/marco-polo-ii-461+361.html#tab=onglet_details)





[부 록]

## 【AHP 설문서】

### LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정에 관한 연구

안녕하십니까?

국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회 회의에서 2020년부터 선박연료유 황산화물 함유량을 3.5%에서 0.5% 이하로 조정하기로 함에 따라 유황함유율이 낮은 디젤유를 사용하거나 기존 연료인 벙커 C 유를 그대로 사용하면서 탈황장치를 부착하는 방법이 있지만, 경제성이 떨어지고 환경적인 효과가 작아 친환경 연료를 사용하는 LNG 추진선의 도입이 전 세계적으로 크게 증가할 것으로 전망되고 있습니다.

실제로 유럽, 미국, 싱가포르 등을 중심으로 LNG 추진선박의 도입과 LNG 벙커링 환경조성이 본격화되고 있는 상황에서 우리나라 정부도 LNG 벙커링을 포함한 LNG 추진선박 도입환경 조성을 위한 'LNG 추진선박 연관산업 육성 추진단'을 구성한 상태이지만 해결해야 할 과제가 많은 상태이며 또한 해운선사들의 경우 금융위기 이후 지속되고 있는 불확실성으로 인하여 LNG 추진선의 건조 여부를 결정하는 것이 쉽지 않은 상황이지만 대비를 해야 하는 상황이기도 합니다.

본 설문은 AHP 기법을 이용하여 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축의 우선순위 선정에 관한 연구를 위하여 설계되었습니다. 본 조사는 연구에 대한 해당 분야 전문가 및 관계자 여러분의 의견을 파악하는 데 목적이 있습니다.

인터뷰 내용은 [통계법 제 33조 (비밀의 보호)]에 근거하여 비밀이 보장되며 학문적인 연구 외 일체의 영리 목적으로 사용되지 않습니다. 한 문항도 빠짐없이 답해주신다면 연구에 소중한 자료로 활용될 것입니다.

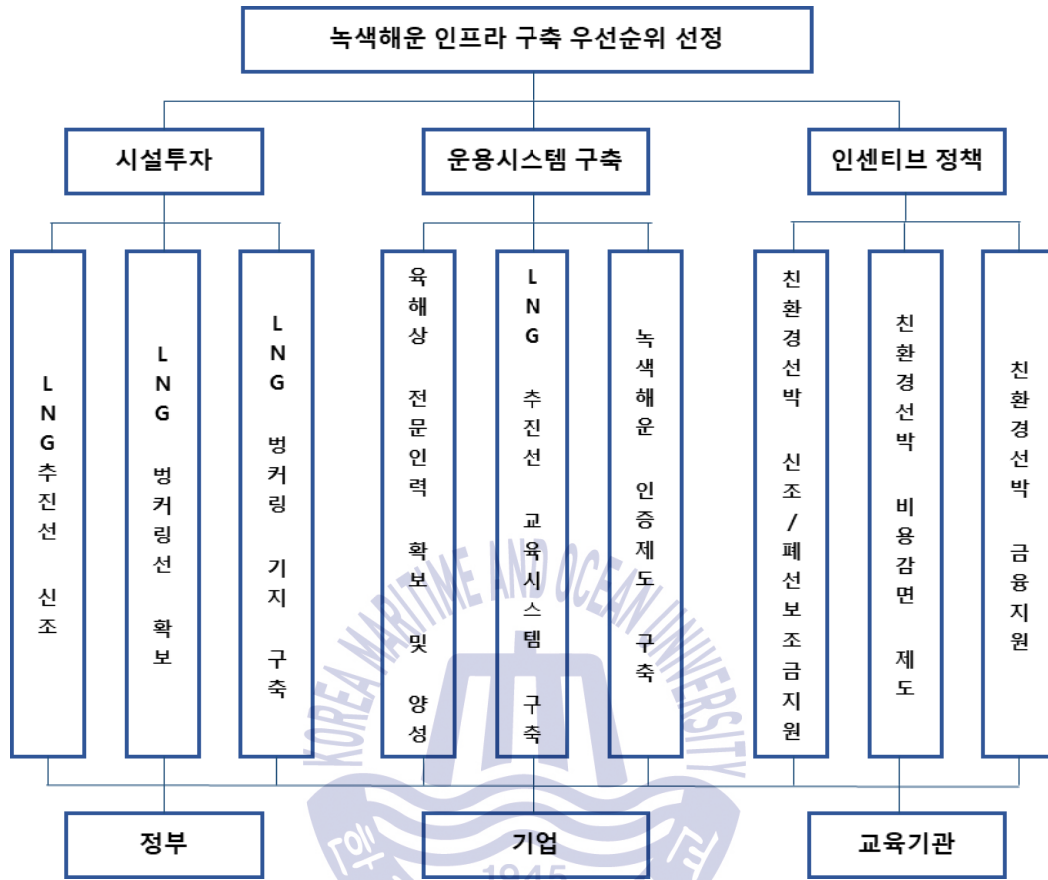
바쁘신 와중에 인터뷰 응답에 감사드리며, 귀하의 무궁한 발전과 건승을 기원합니다.

2017년 10월

지도교수 류 동 근

석사과정 강 석 환

[ LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정에 관한 연구 ]



[ 평가항목에 대한 설명 ]

LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 선정기준 우선순위 도출을 위한 평가항목은 3개의 주 항목과 9개의 세부 항목으로 구분되어 있습니다. 이를 표로 나타내면 다음과 같습니다.

평가요인	세부요인
시설 투자	LNG 추진선 신조
	LNG 병커링 선 확보
	LNG 병커링 기지 구축
운영시스템 구축	육·해상 전문 인력 확보 및 양성
	LNG 추진선 교육 시스템 구축
	녹색해운 인증제도 구축
인센티브 정책	친환경 선박 신조/폐선 보조금 지원
	친환경 선박 비용(항비, 세제) 감면
	친환경 선박 금융지원

[ 설문작성의 예 ]

본 연구는 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 시 어느 항목을 우선적으로 고려해야 하는 지에 대한 의견을 얻고자 하는 것입니다.

평가항목에 대한 판단을 보다 쉽게 하기 위해서 쌍대비교방식을 채택하였습니다. 예를 들면 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축을 위한 의사결정에서 “시설투자” 측면이 “운영시스템 구축” 측면 보다 “중요” 하다고 판단되면 다음과 같이 표시하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절대중요	매우중요	중요	약간중요	대등	약간중요	중요	매우중요	절대중요	평가항목								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1		2	3	4	5	6	7	8	9
시설투자				○														운영시스템 구축

만약 LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축을 위한 의사결정에서 “운영시스템 구축” 측면이 “인센티브 정책” 측면 보다 “매우 중요” 하다고 판단되면 다음과 같이 표시하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절대중요	매우중요	중요	약간중요	대등	약간중요	중요	매우중요	절대중요	평가항목								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1		2	3	4	5	6	7	8	9
운영시스템 구축				○														인센티브 정책

## [ 중요도 기준 ]

중요도 판단에 필요한 척도는 다음과 같은 중요도 척도를 사용합니다.

중요도	정의
1	동일한 정도로 중요 (Equal Importance)
3	약간 더 중요 (Moderate Importance)
5	중요 (Strong Importance)
7	매우 중요 (Very Strong Importance)
9	절대 중요 (Absolute Importance)
2, 4, 6, 8	위의 수치들의 중간 정도의 중요성

## [ AHP 설문 응답 시 유의사항 : 응답 일관도 ]

AHP 분석에서는 분석의 부산물로 비일관도 지수가 생성됩니다. 비일관도 지수가 0.15 이상이 될 경우 응답결과를 신뢰할 수 없다고 판단되어 재설문하게 됩니다. 비일관도 지수가 높게 나오는 데는 크게 다음과 같이 두 가지 경우가 해당됩니다.

- 예) 1.  $A > B$  : A가 B보다 2배 중요하다고 응답  
 2.  $A \gg C$  : A가 C보다 4배 중요하다고 응답
- $B > C$ 라고 응답해야 함.

[원인 1] 서수적 일관성 결여 :  $A > B > C$ 의 순위가 바뀌게 응답

[원인 2] 기수적 일관성 결여 : 위 예에서 B가 C보다 9배 중요하다고 응답할 경우

### 1. 응답자 특성 조사

1) 귀하는 해운·조선 산업관련 분야에서 어디에 해당합니까 ?

- ① 해운업                                  ② 조선업                                  ③ 선박관리업  
 ④ 학계·연구기관                      ⑤ 정부·공공기관·협회          ⑥ 기타 (                                  )

2) 귀하의 직위는 어디에 해당합니까 ?

- ① CEO          ② COO·CSO          ③ 임원                  ④ 팀장(급)          ⑤ 기타(                                  )

3) 귀하의 해당 산업분야 근무 연수는 얼마나 됩니까 ?

- ① 30년 이상    ② 20년 이상~30년 미만    ③ 10년 이상~20년 미만    ④ 10년 미만

### 2. 설문

1) LNG 추진선을 중심으로 한 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정 시 다음의 주 항목 3가지 (시설투자, 운용시스템 구축, 인센티브 정책) 간의 상대적 중요도에 대한 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절대 중요		매우 중요			중요					약간 중요			매우 중요		절대 중요	평가항목		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7			8	9
	시설투자																		
시설투자																		인센티브 정책	
운용시스템 구축																		인센티브 정책	

2) “시설투자”에 관한 하부속성의 평가 항목 중 “LNG 추진선 신조”, “LNG 병커링선 확보”, “LNG 병커링 기지 구축” 중 어느 항목이 상대적으로 더 중요한 지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		약	대	약	중	매	절	평가항목								
	대	우	중	간	대	간	중	우	대									
	중	중	요	중	등	중	요	중	중									
	요	요		요		요		요	요									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
LNG 추진선 신조																		LNG 병커링 선 확보
LNG 추진선 신조																		LNG 병커링 기지 확보
LNG 병커링 선 확보																		LNG 병커링 기지 확보

3) 운용시스템에 관한 하부속성의 평가 항목 중 “육·해상 전문인력 확보 및 양성”, “LNG 추진선 교육시스템 구축”, “녹색해운 인증제도 구축” 중 어느 항목이 상대적으로 더 중요한 지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		약	대	약	중	매	절	평가항목								
	대	우	중	간	대	간	중	우	대									
	중	중	요	중	등	중	요	중	중									
	요	요		요		요		요	요									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
육·해상 전문 인력확보 및 양성																		LNG 추진선 교육시스템 구축
육·해상 전문 인력확보 및 양성																		녹색해운 인증제도 구축
LNG 추진선 교육시스템 구축																		녹색해운 인증제도 구축

4) 인센티브정책에 관한 하부속성의 평가 항목 중 “친환경 선박 신조/폐선 보조금 지원”, “친환경 선박 비용 (항비, 세제) 감면제도”, “친환경 선박 금융지원” 중 어느 항목이 상대적으로 더 중요한 지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중		약		대		약		중		매	절	평가항목		
	대	우		요		간		등		간		요		우	대			
	중	중		요		중		1		중		요		중	중			
	요	요		요		요		2		요		요		요	요			
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
친환경선박 신조/폐선 보조금 지원																	친환경선박 비용 (항비, 세제) 감면제도	
친환경선박 신조/폐선 보조금 지원																	친환경 선박 금융지원	
친환경선박 비용 (항비, 세제) 감면제도																	친환경 선박 금융지원	

5) “LNG 추진선 신조” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중		약		대		약		중		매	절	평가항목		
	대	우		요		간		등		간		요		우	대			
	중	중		요		중		1		중		요		중	중			
	요	요		요		요		2		요		요		요	요			
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																	기업	
정부																	교육기관	
기업																	교육기관	

6) “LNG 병커링 선 확보” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

7) “LNG 병커링 기지 구축” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관



8) “육·해상 전문인력 확보 및 양성” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

9) “LNG 추진선 교육시스템 구축” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

10) “녹색해운 인증제도” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

11) “친환경 선박 신조/폐선 보조금 지원” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

12) “친환경 선박 비용 (항비, 세제) 감면제도” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

13) “친환경 선박 금융지원” 측면에서 다음의 3개 주체 평가대안 중에서 어느 주체가 얼마나 중요한지 귀하의 견해를 표명하여 주시기 바랍니다.

평가항목	절	매		중	약	대	약	중	매	절	평가항목							
	대	우		요	간	등	간	요	우	대								
	중	중		요	중	1	중	요	중	중								
	요	요		요	요	2	요	요	요	요								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
정부																		기업
정부																		교육기관
기업																		교육기관

♣ 설문에 응해 주셔서 대단히 감사드립니다. ♣